

FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS

---

ANNEE 1939

THÈSE

N° .....

POUR LE

DOCTORAT EN MÉDECINE

(DIPLOME D'ÉTAT)

PRÉSENTÉE PAR

**Adolphe CAULA**

Né le 23 Avril 1909, à PARIS (Seine)

---

**Contribution à l'Etude**  
**des**  
**Atmosphères Confinées**

---

*Président : M. TANON, professeur*

---

PARIS  
**VIGOT FRÈRES, ÉDITEURS**  
23, RUE DE L'ÉCOLE-DE MÉDECINE, 23

—  
1939

072

FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS

---

ANNEE 1939

# THÈSE

N° .....

POUR LE

## DOCTORAT EN MÉDECINE

(DIPLOME D'ÉTAT)

PRÉSENTÉE PAR

**Adolphe CAULA**

Né le 23 Avril 1909, à PARIS (Seine)

---

**Contribution à l'Etude**

**des**

## **Atmosphères Confinées**

---

*Président : M. TANON, professeur*

---

PARIS  
VIGOT FRÈRES, ÉDITEURS  
23, RUE DE L'ÉCOLE-DE-MÉDECINE, 23

---

1939

Anatomie .....  
 Physiologie .....  
 Physique médicale .....  
 Chimie médicale .....  
 Bactériologie .....  
 Parasitologie et histoire naturelle médicale .....  
 Pathologie médicale et générale .....  
 Pathologie médicale .....  
 Pathologie chirurgicale .....  
 Anatomie pathologique .....  
 Histologie .....  
 Pharmacologie et matière médicale .....  
 Thérapeutique .....  
 Hygiène et médecine préventive .....  
 Médecine légale .....  
 Histoire de la médecine et de la chirurgie .....

Pathologie expérimentale et comparée .....  
 Hydrologie thérapeutique et climatologie .....

Clinique médicale .....

Hygiène et clinique de la première enfance .....  
 Clinique des maladies des enfants .....  
 Clinique des maladies mentales et des maladies de l'encéphale .....  
 Clinique des maladies cutanées et syphilitiques .....  
 Clinique des maladies du système nerveux .....  
 Clinique des maladies infectieuses .....

Clinique chirurgicale .....

Clinique ophtalmologique .....  
 Clinique urologique .....

Clinique d'accouchements .....

Clinique gynécologique .....  
 Clinique chirurgicale infantile et orthopédie .....  
 Clinique thérapeutique médicale .....  
 Clinique oto-rhino-laryngologique .....  
 Clinique thérapeutique chirurgicale .....  
 Clinique propédeutique .....  
 Clinique de la Tuberculose .....  
 Clinique chirurgicale orthopédique de l'adulte .....  
 Clinique de neuro-chirurgie .....  
 Clinique cardiologie .....  
 Assistance médico-sociale .....

Professeurs sans chaire .....

MM.  
 ROUVIERE.  
 Léon BINET  
 STROHL.  
 POLONOVSKI.  
 Robert DEBRE  
 BRUMPT.  
 BAUDOUIN.  
 ABRAMI  
 MONDOR.  
 LEROUX.  
 CHAMPY.  
 TIFFENEAU  
 HARVIER.  
 TANON.  
 BALTHAZARD  
 LAIGNEL.  
 LAVASTINE  
 FIESSINGER.  
 CHIRAY.  
 LOEPER.  
 CARNOT.  
 Marcel LABBE  
 CLERC.  
 LEREBoullet  
 NOBECOURT  
 H. CLAUDE.  
 COUGEROT.  
 GUILLAIN.  
 LEMIERRE  
 CUNEO.  
 GOSSET.  
 GREGOIRE.  
 LENORMANT  
 TERRIEN.  
 CHEVASSU.  
 LEVY-SOLAL  
 COUVELAIRE.  
 JEANNIN.  
 MOCQUOT.  
 OMBREDANNE  
 RATHERY.  
 LEMAITRE.  
 Pierre DUVAL  
 VILLARET.  
 TROISIER .....  
 MATHIEU.  
 Clovis VINCENT.  
 LAUBRY.  
 N...  
 HAZARD.  
 HOVELACQUE  
 MULON.  
 HARVIER.  
 SANNIE.  
 VERNE.

R. UNIV.  
 BIBLIOTHEEK  
 LEIDEN

## II. — Agrégés en exercice

MM.  
 AMELINE ..... Pathologie chirurgicale.  
 BARIETY ..... Pathologie médicale.  
 RENARD Henri ..... Pathologie médicale.  
 BERNARD EL. .... Pathologie médicale.  
 BESANÇON (J.). ... Hydrologie.  
 BOULIN ..... Pathologie médicale.  
 BULLIARD ..... Histologie.  
 CATHALA ..... Pathologie médicale.  
 COSTE ..... Pathologie médicale.  
 CHEVALLIER ..... Pathologie médicale.  
 DOGNON ..... Physique  
 FUNCK-  
 BENTANO ..... Pathologie chirurgicale.  
 FEY ..... Urologie.  
 GAILLARD ..... Parasitologie.  
 GASTINEL ..... Bactériologie.

MM.  
 DE GAUDART  
 D'ALLAINES .. Pathologie chirurgicale  
 GAYET ..... Physiologie.  
 DE GENNES ..... Pathologie médicale.  
 GIROUD ..... Histologie.  
 HAGUENAU ..... Pathologie médicale.  
 HALPHEN ..... Oto-rhino-laryngologie  
 HUGUENIN ..... Anatomie pathologique  
 JOANNON ..... Hygiène.  
 LACOMME ..... Obstétrique.  
 LANTUEJOUL ..... Obstétrique.  
 LAROCHE Guy. ... Pathologie médicale  
 LAVIER ..... Parasitologie.  
 LELONG ..... Pathologie médicale.

LEMAIRE ..... Pathologie expérimentale.  
 LEVEUF ..... Pathologie chirurgicale.  
 LEVY (M<sup>re</sup> J.) .. Pharmacologie.  
 LEVY-VALENSI. Neurologie et Psychiatrie.  
 MENEGAUX ... Pathologie chirurgicale.  
 MOLLARET .... Pathologie médicale.  
 MOREAU ..... Pathologie médicale.  
 MOULONGUET.. Pathologie chirurgicale.  
 MOUQUIN ..... Pathologie médicale.  
 PETIT ..  
 DUTAILLIS Pathologie chirurgicale

MM  
 PIEDELIEVRE.. Médecine légale  
 PORTES ..... Obstétrique.  
 RENARD..... Ophtalmologie.  
 RICHET ..... Physiologie.  
 SENEQUE .... Pathologie chirurgicale  
 TURPIN ..... Pathologie médicale.  
 VIGNES ..... Obstétrique.  
 WILMOTH .... Pathologie chirurgicale

### III. — Agrégés rappelés à l'exercice pour le service des examens

MM.  
 ALGLAVE ..... Pathologie chirurgicale.  
 BUSQUET ..... Pharmacologie.  
 CHAILLEY-  
 BERT Physiologie.  
 HEITZ-BOYER.. Pathologie chirurgicale.

MM.  
 LARDENNOIS .. Pathologie chirurgicale  
 NEVEU-  
 LEMAIRE.. Parasitologie.  
 LE LORIER ... Obstétrique.  
 SCHWARTZ ... Pathologie chirurgicale  
 VAUDESCAL ... Obstétrique.

### IV. — Agrégés chargés de cours de clinique annexe à titre permanent

MM.  
 ALAJOUANINE.  
 AUBERTIN .....  
 BRULE .....  
 CABROL .....  
 DONZELOT .....  
 DUVOIR .....  
 LIAN .....  
 PASTEUR-VAL-  
 LERY-RADOT..  
 SEZARY .....  
 Clinique médicale

MM  
 BASSET .....  
 BROcq .....  
 CADENAT .....  
 GATELLIER ...  
 MOURE .....  
 QUENU .....  
 VELTER .....  
 Clinique chirurgicale  
 ECALLE .....  
 METZGER ...  
 Clinique obstétricale

### V. — Chargés de cours

MM.  
 CHAILLEY-BERT, agrégé Education physique  
 LEDOUX-LEBARD ..... Radiologie clinique  
 RUPPE ..... Stomatologie.  
 WEILL-HALLE ..... Puériculture.

*Par délibération en date du 9 décembre 1798, l'Ecole a arrêté que les opinions émises dans les dissertations qui lui seront présentées, doivent être considérées comme propres à leurs auteurs et qu'elle n'entend leur donner aucune approbation ni improbation.*



## A MON PERE ET A MA MERE

A qui je dois tout et dont la vie sera  
toujours pour moi le plus bel exemple.

Faible témoignage de ma grande re-  
connaissance et de ma profonde affec-  
tion.

## A MA SŒUR

A NOTRE MAÎTRE ET PRÉSIDENT DE THÈSE

MONSIEUR LE PROFESSEUR TANON

*Professeur d'Hygiène à la Faculté de Médecine de Paris*  
*Membre de l'Académie de Médecine*  
*Directeur de l'Institut d'Hygiène*  
*Conseiller technique sanitaire*  
*au Ministère de la Santé Publique*  
*Inspecteur général des Services techniques d'Hygiène*  
*à la Préfecture de Police*  
*Officier de la Légion d'Honneur*

Qui nous a fait le grand honneur de  
présider cette thèse. Témoignage de  
vive reconnaissance.

A MONSIEUR LE DOCTEUR H. NAVARRE

*Sous-Directeur de l'Institut d'Hygiène  
Professeur à l'Ecole de Médecine de Caen  
Chevalier de la Légion d'Honneur*

En souvenir des marques de sympathie bienveillante qu'il nous a toujours témoignées et de ses conseils avertis.

Qu'il trouve ici l'expression de nos vifs remerciements et de notre grande reconnaissance.

A MONSIEUR LE DOCTEUR H. BOUYGUES

*Professeur à la Faculté des Sciences de Caen  
Professeur à l'Ecole de Médecine et de Pharmacie  
et à l'Ecole Supérieure des Sciences et des Lettres de Rouen  
Chevalier de la Légion d'Honneur*

Qui a été pour nous le guide sûr pour l'élaboration de ce travail. Qu'il veuille bien accepter le témoignage de notre admiration, l'expression de toute notre reconnaissance et notre très respectueux attachement.

A MES MAITRES DANS LES HOPITAUX  
DE PARIS

A MES PROFESSEURS

A MES MAITRES DANS LES HOPITAUX  
DU HAVRE

A MES AMIS ET COMPAGNONS D'ETUDES

A MES CAMARADES D'INTERNAT

# CONTRIBUTION A L'ÉTUDE DES ATMOSPHÈRES CONFINÉES

---

## INTRODUCTION

L'air pur est nécessaire à l'homme pour le maintenir en parfaite santé. L'idéal pour lui serait de toujours vivre en rase campagne. Malheureusement l'air des lieux qu'il est obligé d'habiter est bien différent de l'air extérieur parce que exposé à de nombreuses causes de viciation.

Certes, cet air extérieur est malgré tout altéré dans nos villes par le mélange d'une grande quantité de matières étrangères. On peut même dire que, toute proportion gardée, il est beaucoup plus soumis à des chances de contamination que l'air intérieur. Mais cependant, une différence énorme existe entre eux. Le premier, en effet, est constamment ramené à sa composition normale par l'apport de larges flots d'air neuf. Ensuite, les pluies, les vents, brassent continuellement l'atmosphère, mêlant l'air pur des forêts à l'air vicié des villes qu'il dilue. Le mélange ainsi obtenu se rapproche beaucoup de l'air normal et aide à maintenir l'homme en bonne santé.

Quant à l'atmosphère limitée, nombreuses sont ses

causes de souillures. Les matériaux de construction imprégnés de liquides organiques en décomposition, les murs humidifiés par infiltration, les entrevous comblés de matières putrescibles et humides sont autant de causes de pollution de l'air ambiant.

Une autre cause de souillure importante est l'homme lui-même. Par sa respiration et sa perspiration, il déverse constamment dans l'atmosphère de l'acide carbonique, de la vapeur d'eau, mais il y déverse aussi des odeurs fétides.

L'air confiné apparaît donc comme le résultat des divers échanges s'effectuant entre une atmosphère ambiante limitée, non renouvelée, et les exigences des phénomènes vitaux et autres qui tendent à modifier la composition d'un air préalablement et normalement pur.

LAVOISIER, en 1813, constatait que si on enfermait des animaux dans une quantité d'air donnée, ceux-ci périssaient quand ils avaient converti en acide crayeux la majeure partie de la portion respirable de cet air.

D'après les recherches de LAULANNIÉ (1894), la respiration s'accomplit normalement tant que les tensions respectives de l'O et CO<sup>2</sup> n'excèdent pas 7 et 12 %.

Malgré leur grande importance, la production des gaz carbonés n'est pas seule en cause dans les questions de pollution. PÉCLET et DUNES ont constaté que l'air provenant des salles de spectacles possède une odeur et de la vapeur susceptible de se putréfier.

Ceci inciterait à penser qu'il existe des émanations d'origine animale difficiles à identifier : principes miasmatiques, dont le rôle ne saurait être certain, qui sont le propre des atmosphères confinées où vivent une collectivité d'individus. On pourrait rappeler l'expérience de BALL dont les animaux mouraient malgré l'absorption du  $\text{CO}_2$  et le renouvellement en O.

Donc, les effets du confinement seront d'autant plus marqués que l'atmosphère sera plus limitée, le nombre d'individus plus élevé et le séjour plus prolongé.

Il nous a semblé intéressant de voir les répercussions pratiques du problème de l'air confiné en prenant pour exemple le chemin de fer souterrain Métropolitain de Paris, où les progrès de la technique moderne ont cherché à transformer progressivement l'atmosphère, primitivement si critiquée, en un milieu de plus en plus favorable.

Le problème de l'atmosphère du Métropolitain est des plus complexes, si l'on se représente la longueur et la profondeur impressionnantes des divers tunnels et accès qui constituent ce réseau. Le nombre des voyageurs empruntant ce réseau, souvent à des heures communes, laisse entrevoir une solution parfaite, des plus ardues.

Dans sa généralité, l'atmosphère du Métropolitain ne saurait être en aucune façon qualifiée d'irrespirable. Des chercheurs ont d'ailleurs démontré que bon nombre de rues, la rue de Rivoli par exemple,

possèdent au moment des fortes chaleurs et surtout vers midi, un air surchauffé, saturé d'odeurs hétéroclytes, auxquelles viennent se surajouter les odeurs des gaz d'échappement d'auto, des huiles de graissage, du macadam, etc.

Nous nous proposons donc d'examiner sommairement dans ce travail, les facteurs susceptibles d'influencer l'atmosphère de ce vaste espace souterrain et de voir les diverses solutions proposées ou à envisager pour son amendement.

Ceci dit, étudions maintenant de plus près cette atmosphère.

Et, à ce propos, nous envisagerons successivement :

— le gaz carbonique,

— les poussières.

à propos desquelles nous effleurons la question des germes bactériens. Les odeurs seront aussi envisagées. Puis, après avoir étudié succinctement ces divers agents, nous dirons quelques mots de la ventilation.

## CHAPITRE PREMIER

# LE CO<sup>2</sup> DE L'ATMOSPHERE DU METROPOLITAIN

### SON EXISTENCE

La première question qui, logiquement, se pose à notre esprit est de savoir si l'atmosphère du sous-terrain contient du CO<sup>2</sup> et si la proportion de ce dernier y varie sous l'influence de facteurs divers.

Or, en ce qui concerne sa présence, il suffit de faire un prélèvement d'air sur n'importe quel point du tunnel, pour se convaincre de l'existence de ce gaz dans l'atmosphère du « Métropolitain ».

### VARIATION DE SA PROPORTION

Toutefois, la proportion dans laquelle il s'y trouve varie :

- a) avec les lieux,
- b) avec les saisons,

c) avec les heures de la journée, pour un même lieu.

a) AVEC LES LIEUX. — La quantité de  $\text{CO}_2$  varie pour une même ligne suivant les endroits considérés. Ainsi, sur la ligne Maillot-Vincennes (Ligne n° 1), la fluctuation a oscillé, durant le 4<sup>e</sup> trimestre de 1903, entre 38 lit. (Saint-Paul) et 128 lit. (Marbeuf) pour 100 mètres cubes d'air. Sur la ligne Dauphine-Nation (Ligne n° 2), on eut, pour le 4<sup>e</sup> trimestre de 1906, les chiffres extrêmes suivants : 44 lit. (Anvers-Barbès) et 102 lit. (Ternes-Courcelles). Sur la ligne n° 2 et n° 5 (Etoile-Italie; Italie-Gare du Nord), on eut, durant le 4<sup>e</sup> trimestre 1907, les chiffres extrêmes suivants : 35 lit. (Corvisart-Italie : souterrain) et 112 lit. (Etoile-Kléber).

Sur la ligne 8, durant les heures d'affluence de novembre-décembre 1935, les limites furent 39 lit. (Eglise d'Auteuil-Michel-Ange) et 108 lit. (Opéra-Madeleine).

La même année, sur la ligne 11, on eut, en octobre, aux heures d'affluence : 41 lit. (Garage vers l'Hôtel-de-Ville-Châtelet) et 79 lit. (Pyrénées-Jourdain).

La même année encore et le même mois, sur les lignes 13 et 13 bis, les limites furent de 44 lit. (Tiroir-Porte de Saint-Ouen) et de 92 lit. (Liège-Gare Saint-Lazare).

Ces quelques exemples, choisis parmi bien d'autres suffisent pour montrer que la quantité de  $\text{CO}_2$  varie suivant les lieux.

b) AVEC LES SAISONS. — Voyons maintenant si de

telles variations sont enregistrables avec les saisons.

La quantité de CO<sup>2</sup> dans l'atmosphère du tunnel varie aussi suivant les saisons.

Ainsi pour la ligne n° 1 (Maillot-Vincennes), les moyennes établies depuis 1903 jusqu'en 1912 furent les suivantes :

|                 |         |
|-----------------|---------|
| Hiver . . . . . | 86 lit. |
| Été . . . . .   | 72 lit. |

Pour la ligne n° 2 (Nord-Dauphine-Nation), les mêmes moyennes établies de la même façon furent :

|                 |         |
|-----------------|---------|
| Hiver . . . . . | 70 lit. |
| Été . . . . .   | 63 lit. |

Pour la ligne 2 Sud (Etoile-Italie), les moyennes établies de 1906 à 1913 furent encore :

|                 |         |
|-----------------|---------|
| Hiver . . . . . | 67 lit. |
| Été . . . . .   | 55 lit. |

Pour la ligne 5 (Italie-Gare du Nord), elles furent :

|                 |         |
|-----------------|---------|
| Hiver . . . . . | 64 lit. |
| Été . . . . .   | 53 lit. |

Pour la ligne 3 (Porte de Champerret-Gambetta), dont les moyennes avaient été établies sur les années comprises entre 1904 et 1913, on eut :

|                 |         |
|-----------------|---------|
| Hiver . . . . . | 79 lit. |
| Été . . . . .   | 64 lit. |

Pour la ligne n° 10 (Invalides-Jussieu), un prélèvement fait en juillet 1931 avait donné une moyenne de 46 litres aux heures d'affluence. Au mois de novembre 1936, toujours aux heures d'affluence, la moyenne fut de 51 litres.

On pourrait, du reste, encore ici multiplier les exemples, Mais ceux que nous venons de citer sont suffisants pour nous convaincre de la variation de la proportion de  $\text{CO}_2$  dans l'atmosphère du tunnel suivant les saisons.

c) AVEC LES HEURES DE LA JOURNÉE POUR UN MÊME LIEU. — La proportion de  $\text{CO}_2$  varie, avons-nous dit, pour un même lieu suivant les heures.

D'après les recherches faites par le Dr. CAMBIER dans bon nombre de tunnels et de gares, il ressort nettement qu'aux heures creuses, c'est-à-dire entre 5 h. 30 et 7 h. 30 d'une part, puis entre 23 heures et 0 h. 30 d'autre part, la quantité de  $\text{CO}_2$  dans l'atmosphère est minime. Par contre, après les heures d'affluence, cette quantité est beaucoup plus élevée.

Le Dr. CAMBIER a remarqué avec quelle rapidité la chute de la proportion de  $\text{CO}_2$  dans l'atmosphère se produit. La disparition de la surcharge de  $\text{CO}_2$  se fait relativement très vite. C'est là une observation capitale du plus haut intérêt. Mais comment se produit-elle ? C'est ce que nous verrons plus loin.

Ajoutons encore cependant que, contrairement à ce que l'on aurait pu penser, le  $\text{CO}_2$ , malgré son poids atomique élevé, 1.52, n'occupe pas les couches inférieures de l'atmosphère. Il existe d'après PETTENKOFFER, de réels courants dus principalement aux inégalités de température qui entraînent le  $\text{CO}_2$  et le mélangent énergiquement à l'air. Dans les pièces

habitées, on en trouve à 4 mètres de haut plus qu'au ras du sol.

## ORIGINE DU CO<sup>2</sup> DU METROPOLITAIN

Les origines du CO<sup>2</sup> de l'air du Métropolitain sont multiples. Et s'il en est qui paraissent être encore obscures, comme les origines telluriques par exemple, il en est d'autres, au contraire, dont on ne peut plus douter. La respiration et la perspiration humaines sont dans ce cas et constituent sans contredit, les deux sources principales de ce gaz.

### A. — Respiration.

Et d'abord occupons-nous de la respiration. Mais avant toute chose, rappelons très brièvement la constitution de l'air normal.

#### 1° Constitution de l'air normal :

Celui-ci, comme on le sait, est essentiellement composé d'un mélange d'azote et d'oxygène. Il contient toujours, à côté de ces gaz fondamentaux, une faible proportion (1/100 environ) d'argon, accompagné d'autres traces d'autres gaz rares, dont le plus important est l'hélium.

En outre, l'air n'est jamais sec ni complètement pur de toute émanation végétale ou animale. Il contient donc une proportion plus ou moins élevée de vapeur d'eau et de gaz carbonique.

Voici du reste la composition de l'air telle qu'elle ressort de travaux récents :

| Air sec et pur (en volumes pour 100) |     |                   |      |            |            |        |
|--------------------------------------|-----|-------------------|------|------------|------------|--------|
| Azote+Argon;                         | O ; | CO <sup>2</sup> ; | H ;  | Néo Crypt. | Hél.-Xénon |        |
| 78,3                                 | 0,9 | 20,8              | 0,03 | 0,01       | traces     | traces |

A ces corps, il faut encore ajouter de la vapeur d'eau. La proportion en est très variable. Mais, cependant, la moyenne peut être considérée comme égale à 8,4 environ. Il peut y avoir aussi des carbures d'hydrogène (méthane), de l'aldéhyde formique, de l'acide sulfureux, des composés ammoniacaux, de l'ozone, de l'oxyde de carbone, etc... L'air de la campagne serait oxydant. Il renfermerait, en effet, des traces d'ozone dont la proportion varierait entre 1 et 3/100.000.000. Par contre, celui des villes serait au contraire, réducteur.

## 2° Quantité de CO<sup>2</sup> contenu dans l'air libre :

En ce qui concerne le CO<sup>2</sup>, on peut dire que sa proportion dans l'air libre est des plus variables. Les anciens chimistes comme SAUSSURE, BOUSSINGAULT, VERVER, etc..., admettaient qu'elle était de 4 pour 10.000.

En fait, ce chiffre est trop fort et il semble que sa

valeur soit au plus de 3 pour 10.000, peut-être même un peu plus basse. C'est du reste ce qui ressort d'analyses faites, tant en France qu'à l'étranger, par TRUCHOT, REISET, LÉVY et MARIÉ DAVY, ARMSTRONG, MUNTZ et AUBIN, FARSKY, ANGUS-SMITH, CLEASSON, STORER.

Ces quelques généralités sur la constitution de l'air étant données, rappelons quelques généralités concernant la physiologie de la respiration.

### **3° Quantité d'air inspiré ou expiré :**

On sait qu'une inspiration est accompagnée d'une expiration. Or, cette dernière, si complète soit-elle, laisse toujours subsister dans les poumons, un résidu gazeux qui ne peut en être expulsé.

Or, pour un adulte de 30 à 35 ans, faisant 17 inspirations et expirations à la minute, le volume de l'air qui entre ou sort du poumon, par respiration calme, est de 450 centimètres cubes. Et comme la capacité vitale chez un adulte de taille moyenne est de 3.600 centimètres cubes et que les poumons de ce même adulte ont environ un volume total de 4.750 centimètres cubes, on voit donc que le volume de l'air qui entre ou sort du poumon durant la respiration normale et calme est le 8<sup>e</sup> de la capacité vitale et le dixième de la capacité totale des poumons. Le rapport des volumes de l'air inspiré ou expiré à la capacité totale des poumons a été nommé, par GRAHANT, coefficient de ventilation. Il est normalement, comme on voit, de 10 pour 100. Ce coefficient aug-

niente nécessairement avec le volume de l'inspiration et peut s'élever à 25 ou 26 pour 100.

On peut admettre, d'après les recherches faites à ce propos qu'un adulte moyen de 30 à 35 ans consomme 450 à 460 centimètres cubes d'air à chaque inspiration, 458 litres par heure ou 11 mètres cubes environ en 24 heures : soit 7 litres à peu près par kilo et par heure. Cependant nous verrons plus loin que ces données sont susceptibles d'éprouver des variations avec la taille, le mode d'alimentation, la veille, le repos, le mouvement, etc...

#### 4<sup>e</sup> Composition du mélange de gaz expiré :

Mais quelle est la constitution du mélange gazeux expiré ? On sait que la proportion des principaux éléments de l'air inspiré, ramenée à 100 volumes, est la suivante :

|                            |                   |
|----------------------------|-------------------|
| Oxygène . . . . .          | 20,8              |
| Azote (et argon) . . . . . | 78,3              |
| Acide carbonique . . . . . | 0,03              |
| Vapeur d'eau . . . . .     | quantité variable |

Or le mélange gazeux qui sort du poumon contient sensiblement la même quantité d'azote (1 à 3 millièmes environ en plus). Mais, par contre, il ne contient plus que 1 à 17 volumes d'oxygène au lieu de 20,2. Et par la suite, au lieu de 0,03 de CO<sup>2</sup>, on en trouve 4,35.

Remarquons toutefois qu'il n'y a pas un rapport

constant entre le volume d'oxygène disparu et le volume de  $\text{CO}_2$  apparu dans le mélange expiré.

En moyenne, il n'apparaît que 90 vol. de  $\text{CO}_2$  pour 100 vol. d'O. disparus.

Le reste de ce dernier gaz est employé à brûler les tissus et à former de l'eau et des produits fixes divers.

Dans le mélange expiré par la bouche, on trouve encore avec une trace d'ammoniaque (et peut-être d'ammoniaques composés : 0 gr. 0104 d'après LOSSEN, par 24 heures), une très faible quantité d'hydrogène libre et d'hydrogènes carbonés.

### **5° Variation des phénomènes respiratoires avec l'état de l'être humain**

Etudions maintenant la variation des phénomènes respiratoires avec l'état de l'individu

L'activité respiratoire varie avec le sexe, l'âge, l'état de la circulation et de la température du corps, l'activité et le repos musculaires, les régimes, l'inanition et la diète, la température ambiante et le mode respiratoire. On pourrait citer d'autres influences encore. Mais nous nous en tiendrons à celles-ci.

Et disons de suite que la quantité de  $\text{CO}_2$  rejetée par un individu sera fonction de ces divers agents.

a) INFLUENCE DU SEXE. — L'homme adulte exhale près de deux fois plus de  $\text{CO}_2$  que la femme.

b) INFLUENCE DE L'ÂGE. — En général, l'élimination de l'acide carbonique décroît du jeune âge à la pu-

berté. Elle repasse ensuite par un maximum entre 16 et 18 ans, puis se maintient, jusqu'à 30 ans environ, à un taux un peu moindre pour diminuer ensuite. On constate de plus, que, dans les pays chauds, les nombres absolus s'abaissent tandis qu'ils remontent dans les pays froids.

c) INFLUENCE DE L'ÉTAT DE LA CIRCULATION ET DE LA TEMPÉRATURE DU CORPS. — Lorsque la pression sanguine augmente, le  $\text{CO}_2$  exhalé croît aussi. Il en est de même si la circulation devient plus rapide. Ces différences s'accroissent encore durant les maladies et dans les états passionnels.

Les causes qui abaissent la température du corps diminuent l'exhalation de l'acide carbonique et vice versa. Le réchauffement artificiel, la fièvre accentuent ce dégagement.

d) INFLUENCE DE L'ACTIVITÉ ET DU REPOS MUSCULAIRES. — L'acide carbonique exhalé augmente avec la marche. S'il est égal à 1, à l'état de repos et couché, il devient 1.50 environ durant la marche lente et 2.50 pendant la marche un peu plus rapide.

La proportion centésimale d'acide carbonique de l'air expiré par un homme au repos, étant de 3,5, cette proportion deviendrait 4,6 au cours du travail.

e) INFLUENCE DE L'ALIMENTATION ET DES RÉGIMES. — Pour une même quantité d'oxygène absorbé, les carnivores produisent moins d'acide carbonique que les herbivores.

L'acide carbonique expiré augmente, en général, avec la quantité relative de carbone contenue dans les aliments. Les graisses, sucres, matières amylacées, etc., en fournissent le plus. Après un repas formé surtout d'aliments féculents et de pain, la quantité d'acide carbonique exhalé monte beaucoup par rapport à la proportion d'oxygène absorbé qui reste à peu près constante ou augmente très peu.

f) INFLUENCE DE L'INANITION ET DE LA DIÈTE. — Pendant l'inanition, il se produit une diminution très notable de l'acide carbonique excrété par les poumons.

Pour une même proportion d'oxygène absorbé, la proportion d'acide carbonique exhalée est moindre durant l'inanition qu'avec un régime moyen suffisant. L'animal inanitié devient carnivore.

g) INFLUENCE DE LA TEMPÉRATURE AMBIANTE. — Sous l'influence de la température extérieure, l'animal qui tend à maintenir sa température constante, doit voir son activité respiratoire augmenter à mesure qu'augmente son besoin de calorification et que baisse la température ambiante.

Cependant, il existe une limite à cela. Des expériences ont été faites à ce propos, il en résulte que l'élévation de température extérieure n'agit sensiblement plus pour diminuer l'exhalation de  $\text{CO}_2$  à partir de  $24$  à  $25^\circ$ .

h) MODE RESPIRATOIRE. — Si, pour un même laps de temps, la quantité d'air, introduite dans le pou-

mon et expulsée, vient à augmenter (le nombre de respirations restant constant), l'acide carbonique exhalé augmente aussi.

Des respirations fréquentes et profondes, en effet, augmentent d'une manière sensible durant quelque temps la quantité absolue d'acide carbonique excrétée par minute.

## **B. — Perspiration ou respiration cutanée.**

Une autre origine du  $\text{CO}_2$  du Métropolitain, est la Perspiration cutanée.

La peau est, en effet, le siège d'une exhalation et d'une absorption continue de gaz.

Voyons maintenant ce que sont ces échanges.

Grâce à la perspiration, la peau rejette sans cesse de la vapeur d'eau, de l'acide carbonique et un peu d'azote ; en même temps, elle absorbe une petite quantité d'oxygène. Si nous mesurons l'activité perspiratoire par les dégagements d'acide carbonique dont elle est le siège, il semble que cette activité ne s'élève pas à la centième partie de celle des poumons.

A cet égard, les auteurs ont d'ailleurs donné des résultats variables. Suivant AUBERT et LANGE, l'acide carbonique exhalé par la peau d'un adulte serait en 24 heures de 3,87 ; pour FABINI et RÖNCHI, de 6,80 et suivant ABERNETHEZ et ROHBRIG, de 14.

Du reste l'élimination de l'acide carbonique perspiré augmente avec la température et avec l'exercice

musculaire dans des proportions sensibles. Elle s'accélère aussi par l'activité digestive, le régime animal, la lumière. Suivant POTT, les rayons jaunes seraient les plus excitants. Suivant d'autres, ce seraient les violets.

D'une manière générale, la quantité de  $\text{CO}_2$  de la perspiration augmente avec l'élévation de la température ambiante et l'accroissement de l'activité musculaire.

### DEGRE DE TOXICITE DU $\text{CO}_2$

Nous venons de voir que l'atmosphère du Métropolitain contient du  $\text{CO}_2$  en proportion variable et nous venons de reconnaître aussi ses principales origines. Or, peut-on dire que dans la proportion où il existe dans le souterrain, ce gaz soit d'un effet néfaste sur la santé des usagers et des agents ? Telle est la question que nous allons tâcher maintenant d'étudier.

Mais avant, qu'il nous soit permis de donner un aperçu des croyances habituelles sur la toxicité de  $\text{CO}_2$ . Pour ce faire, nous nous sommes livrés à une bibliographie sérieuse à seule fin de connaître l'opinion de certains savants sur ce point particulier et les faits sur lesquels ils la basaient.

Or, à la suite de cette bibliographie, qu'il nous est matériellement impossible de reproduire ici, nous

avons été amenés à reconnaître le peu d'accord des auteurs sur la puissance toxique du  $\text{CO}_2$ . De sorte que, même de nos jours, nous pouvons redire avec Claude Bernard :

« Le danger ou l'innocuité de l'acide carbonique  
« sont, en quelque sorte, restés des questions d'opi-  
« nion comptant des faits pour, des faits contre, et  
« résolues, en définitive, par des appréciations qui  
« n'ont jamais eu le caractère de démonstration ».

Cependant, en jetant un coup d'œil d'ensemble sur les recherches qui ont été effectuées à ce sujet depuis le grand Physiologiste, il nous semble que les divergences de vues ne sont pas précisément à imputer aux chercheurs, mais bien à ceux qui se sont complus à résumer leurs travaux.

Nous avons en effet l'impression nette qu'on a mélangé le plus souvent les données acquises sur le  $\text{CO}_2$  naturel avec celles du  $\text{CO}_2$  de la respiration animale : étendant à l'un d'eux ce qui était l'apanage de l'autre et inversement.

### **$\text{CO}_2$ ordinaire et $\text{CO}_2$ provenant de la respiration.**

Il y a donc lieu, dans ce qui va suivre, de bien distinguer le  $\text{CO}_2$  ordinaire du  $\text{CO}_2$  de la respiration.

a)  $\text{CO}_2$  ORDINAIRE. — En ce qui concerne le premier, PETTENKOFER a passé quelques heures dans une atmosphère à 10 pour 1.000 de  $\text{CO}_2$  sans en être positivement incommodé. Bien plus, FOSTER a respiré, sans

difficulté, pendant 10 minutes, dans une cave où fermentait du vin et dont l'air contenait 40 pour 1.000 de  $\text{CO}_2$ .

Les expériences de DEMARQUAY, durant lesquelles l'homme a respiré, pendant 4 à 6 minutes, un mélange de 8 à 10 parties d'oxygène ou d'air, avec 1, 2 et même 3 de  $\text{CO}_2$ , sans éprouver autre chose que des troubles passagers, semblent prouver que la tolérance de l'organisme pour ce gaz peut être poussée très loin et qu'il n'est pas toxique puisque les troubles (oppressions, vertiges) ne se prolongent que pendant peu de temps après l'expérience.

b)  $\text{CO}_2$  DE LA RESPIRATION. — En ce qui concerne le deuxième, SMITH prétend que, lorsque la richesse de l'air en  $\text{CO}_2$  provient de la respiration, la tolérance est moins facile. C'est ainsi qu'il lui a paru impossible de rester pendant un temps notable dans une atmosphère à 40 pour 1.000 de  $\text{CO}_2$  de cette origine. A ce moment, en effet, il ressentait les effets ordinaires produits par l'air vicié résultant de la respiration humaine, c'est-à-dire : un sentiment de malaise se traduisant par de la céphalée, des vertiges, des nausées, et partant, une diminution de la capacité de travail.

Du reste, on peut citer encore à l'appui de cette thèse les recherches de MANTEGAZZA. Celui-ci, ayant placé des animaux de même poids dans des cloches de mêmes dimensions, a constaté que ceux des animaux dont les émanations organiques n'étaient pas annulées mourraient les premiers.

c) MATIÈRES VENANT S'AJOUTER A LUI. — Or, il faut

savoir qu'une atmosphère confinée, en plus du  $\text{CO}_2$  de la respiration qu'elle contient, est encore souillée par l'homme lui-même. Du canal intestinal s'échappent, en effet, des gaz complexes formés surtout d'hydrogène, d'acides carbonique, butyrique, acétique, formique, de formaldéhyde, de ptomaïnes, de phénol, de scatol. Les sécrétions sudorale et sébacée, leur mélange et leur macération avec les squames épidermiques, des replis profonds de la peau donnent naissance à des acides gras volatils et à des produits odorants très abondants.

Ajoutons encore les déchets solides de la vie animale, les excréments, les crachats, le mucus nasal, les sécrétions des muqueuses malades, les impuretés adhérant aux habits, la boue apportée du dehors avec les vêtements, surtout avec les chaussures, les débris alimentaires, les cadavres des animaux grands et petits, depuis les insectes morts jusqu'aux cadavres de rats; on se fera ainsi une idée de l'état de souillure dans laquelle peut se trouver l'atmosphère d'un lieu plus ou moins clos.

Mais de tous ces corps qui provoquent cette viciation, la matière sébacée et la sueur jouent un rôle primordial.

a) *Matière sébacée.* — La matière sébacée est sécrétée par la fonte et destruction des cellules glandulaires. Elle est onctueuse et s'épaissit encore à l'air. Sa composition varie avec les points de la peau ou des muqueuses. Elle contient de l'eau, des cellules adipeuses remplies de margarine, d'oléine, d'oléates

et de margarates alcalins, des lamelles épithéliales, quelquefois des paillettes de cholestérine, souvent des principes odorants caractéristiques, des sels ammoniacaux, des chlorures alcalins et des phosphates, surtout terreux.

*b) Sueur.* — La sueur constitue une solution très étendue de sels minéraux où domine le chlorure de sodium mêlé d'un peu de chlorure de potassium, de sels alcalins à acides organiques (lactates, etc., sudorates), d'une trace d'urée, d'une très petite quantité de matières grasses et de substances odorantes formées surtout d'acides gras volatils.

La sueur est un mode puissant d'élimination des alcalis. Pendant que 1 gramme d'alcalis passe dans les urines, il en est excrété 1 gr. 2 environ par la peau.

On trouve encore dans la sueur humaine les acides formique, oléique, stéarique, cérotique, succinique, oxalique, phénosulfurique, scatolsulfurique; des oxacides aromatiques rougissant le réactif de Millon ; enfin, de la leucine, de la tyrosine et du carbonate d'ammoniaque.

Les sueurs des diverses parties du corps sont différentes. Celles de l'aisselle, de l'aîne, des orteils sont toujours alcalines, plus riches que les autres en matières minérales, en acides gras et en corps odorants. Cette odeur variable provient de bases spéciales, d'acides gras et odorants, et d'un produit volatil sulfuré d'odeur alliagée, qui paraît lui-même résulter du dédoublement microbien d'un corps sulfuré plus complexe.

Enfin l'odeur fétide ou agréable de quelques sueurs tient aussi à l'acide butyrique et aux éthers butyrique, valérique, caproïque, etc... qu'elles contiennent. Ces dernières substances varient beaucoup, même à l'état normal.

Certaines matières odorantes, l'ail, l'asa-foetida, le soufre et beaucoup de substances médicamenteuses se retrouvent dans la sueur ; citons les iodures, l'alcool, le camphre, les huiles essentielles, le sulfate de quinine, les acides succinique, benzoïque, arsénieux, arsénique, le sublimé. L'acide hippurique y apparaît chez ceux qui font usage de baumes ou qui sont soumis au régime lacté.

### **CO<sup>2</sup> indicateur du degré de pollution d'une atmosphère.**

Donc, quand le CO<sup>2</sup> est d'origine humaine, il s'accompagne toujours, comme on vient de le voir, de produits de sécrétions cutanées, de gaz rendus par les voies digestives et d'impuretés provenant des voies respiratoires. Or, ce sont ces substances qui sont surtout les grandes coupables dans l'inspiration de l'air confiné. Comme elles sont rejetées en même temps que le CO<sup>2</sup>, plus celui-ci est abondant, plus le séjour des individus a été prolongé dans le milieu clos, plus aussi il y a eu d'expirations, production de la matière sébacée et de sueur, plus enfin l'air est vicié. De sorte que le CO<sup>2</sup> devient indirectement l'indicateur de la

plus ou moins grande abondance de ces substances nuisibles. Et c'est ce qui explique l'importance qu'on a attachée au titrage du  $\text{CO}_2$  dans l'air pour connaître la valeur hygiénique d'une atmosphère donnée, et se rendre compte de sa richesse en matières toxiques.

### **Proportion de $\text{CO}_2$ tolérée.**

Et ceci nous amène à voir quelle est la proportion de  $\text{CO}_2$  qui correspond à la somme minima des produits précédents, pour que celle-ci, soit sans action nocive sur l'organisme et, partant, tolérée par lui.

Pour laisser une certaine marge aux causes d'erreur dans les dosages du gaz carbonique, la Commission d'Hygiène Industrielle, siégeant au Ministère du Travail a émis à ce propos l'avis suivant : « Il y a lieu  
« de considérer comme ne satisfaisant pas aux condi-  
« tions de pureté de l'air requises par le décret du  
« 10 juillet 1913, un atelier ou un local de travail  
« où la proportion de gaz carbonique existant dans  
« l'atmosphère dépasse 1/1.000 ou 10/10.000 au voi-  
« sinage des ouvriers (1). »

Nous verrons plus loin de quelle manière est assurée dans les souterrains et les stations une atmosphère dépourvue de tout danger.

(1) Cours d'hygiène. Léon Bernard et Robert Debré (Masson, Paris). Tome I<sup>er</sup>, page 981.

## CHAPITRE II

Mais ce n'est point seulement la présence de  $\text{CO}_2$  qui soulève des critiques aussi acerbes qu'injustifiées. Nous devons citer encore les poussières et la fameuse odeur « Métro » : odeur qui lui est propre comme l'odeur empyreumatique l'est aux pharmacies. Il y a encore la température et l'état hygrométrique de l'air. Mais, de ceux-ci, nous n'en dirons pour ainsi dire rien, car nous serions obligé de sortir des limites que nous avons assignées à ce travail.

C'est pourquoi nous allons nous occuper, dans ce chapitre, des poussières et de l'odeur.

### POUSSIÈRES

Nous ne nous attarderons pas à rechercher avec minutie l'origine des poussières qui se trouvent dans le Métropolitain, soit à l'état de suspension dans l'air, soit à l'état de repos, sur les quais, les voûtes et les voies des tunnels. Nous nous en tiendrons simplement à constater leur existence, leur composition, leur constitution chimique et leur répartition. Puis nous

exposerons les moyens pratiques employés jusqu'ici pour en diminuer la quantité et ceux qu'on pourrait encore appliquer dans le même but.

## ORIGINE ET COMPOSITION DES POUSSIÈRES

Les poussières du Métropolitain peuvent être divisées en poussières importées par les voyageurs et en poussières formées sur place.

Comme toutes les poussières, elles comportent une partie inerte et une partie organisée.

La partie inerte comprend des particules minérales infiniment petites provenant de la désagrégation du ballast ; des particules se détachant peu à peu des enduits qui recouvrent les parois des tunnels et qui sont le plus souvent déjà transformées en carbonate de chaux par le  $\text{CO}_2$  du souterrain ; des particules minérales et organiques, apportées de l'extérieur sur les quais des stations par la semelle des souliers des piétons ; enfin, des particules de toute nature qui, en suspension dans l'air extérieur, entrent avec lui dans les tunnels lorsque certaines conditions physiques et la situation de la plateforme de la voie, par rapport au plan de la rue, permettent des échanges plus ou moins importants entre les deux milieux.

La partie organisée comprend, au contraire, des spores de champignons, des levures, des bactéries, etc.

La présence de ces infiniment petits dans le Métro

n'a nullement besoin d'être démontrée puisque ceux-ci règnent en Maître dans toute la Nature.

Cependant, des mesures purement quantitatives effectuées sur ce point pouvaient présenter quelque intérêt. Or, voici à ce propos ce que le Dr. CAMBIER a écrit en 1913 :

« Au cours de l'année 1912, le laboratoire a exécuté  
« des analyses bactériologiques dans les souterrains  
« du Métropolitain. Jusqu'ici ces mesures ont été  
« purement quantitatives; seules des numérations de  
« bactéries et de moisissures ont été faites.

.....

« De l'ensemble des recherches entreprises, il dé-  
« coule que l'affluence plus ou moins grande du pu-  
« blic ne joue qu'un rôle très secondaire dans le  
« nombre des bactéries et des moisissures. Le facteur  
« dominant, c'est l'humidité du souterrain, et l'in-  
« fluence des arrosages est particulièrement nette au  
« cours des expériences exécutées sur la ligne n° 4.

« Plus l'humidité est grande, plus le nombre des  
« bactéries est faible et celui des moisissures élevé.  
« Ce résultat n'a d'ailleurs rien qui puisse nous sur-  
« prendre étant donné les nombres obtenus dans les  
« égouts, milieu particulièrement humide. D'autre  
« part, l'atmosphère extérieure étant, d'une façon  
« générale, bien moins humide que les souterrains  
« du Métropolitain, il était naturel de penser que les  
« résultats obtenus à l'air libre donneraient des chif-  
« fres plus élevés en bactéries et plus faibles en

« moisissures que ceux obtenus dans les soufer-  
« rains » (1).

C'est d'ailleurs ce qu'a mis nettement en relief le Dr. CAMBIER en étudiant successivement : l'air du parc Montsouris, l'air des égouts de Paris (collecteur de Sébastopol), l'air de la ligne 4 du « Métropolitain », l'air des Hôpitaux (salle de l'ancien hôpital de la Pitié), enfin l'air des appartements.

Ces expériences de numération donnèrent au Dr. CAMBIER des résultats de faible intérêt. Cependant, il fit remarquer qu'il était utile de les avoir entreprises puisqu'elles montraient que les nombres obtenus concernant les Bactériacées et les spores de champignons étaient peu élevés.

De telles numérations sont encore actuellement poursuivies dans un grand nombre de stations du Métropolitain et dans un autre but.

## CONSTITUTION CHIMIQUE DES POUSSIÈRES

Le Dr. CAMBIER s'exprimait ainsi à propos des poussières du Métropolitain :

« Cette poussière qui a l'apparence d'une suie noi-  
« râtre, brûlant facilement au contact d'une flamme,  
« est formée en majeure partie de fer provenant de  
« l'usure des rails, roues et sabots de freins; elle  
« contient, en outre, des particules de silex arra-  
« chées au ballast et de la chaux provenant du net-  
« toyage des stations et des tunnels.

(1) Recherches du Laboratoire d'Hygiène de la Ville de Paris, 1913.

« Traitée par l'acide chlorhydrique, on observe,  
« en même temps qu'un dégagement d'hydrogène  
« provenant du fer, une odeur assez prononcée te-  
« nant aux impuretés de ce métal.

« Les proportions des éléments constituant cette  
« poudre sont indiquées dans le tableau suivant :

|                                      |        |
|--------------------------------------|--------|
| Matière organique .....              | 16,1 % |
| Fer (en Fe) .....                    | 74,3 % |
| Silice (en Si O <sup>2</sup> ) ..... | 8,1 %  |
| Chaux : .....                        | traces |

En 1926, MM. FLORENTIN, SCHMUTZ et LAFORE firent paraître les résultats de leurs recherches sur le même sujet : résultats de première importance du reste.

Ces auteurs arrivèrent, en effet, à établir une constitution moyenne des poussières, moyenne donnée par le tableau suivant :

|                          | Lignes souterraines |        |                    | Lignes semi-aériennes |      |                    |
|--------------------------|---------------------|--------|--------------------|-----------------------|------|--------------------|
|                          | Min.                | Max.   | Moyenne des essais | Min.                  | Max. | Moyenne des essais |
| Humidité .....           | 2.0                 | 5.5    | 4.2                | 1.0                   | 4.0  | 2.2                |
| Matières organiques ..   | 23.0                | 31.2   | 27.1               | 4.4                   | 14.7 | 10.9               |
| Silice et silicates..... | 14.9                | 24.0   | 19.5               | 8.0                   | 11.3 | 10.3               |
| Carbonate de chaux ..    | 15.5                | 28.9   | 22.9               | 2.7                   | 21.6 | 10.4               |
| Oxyde de fer en Fe ..    | 6.6                 | 21.3   | 12.1               | 8.7                   | 19.3 | 14.8               |
| Fer métallique.....      | traces              | traces | traces             | 25.5                  | 46.0 | 33.0               |
| Fer total en Fe.....     | 6.6                 | 21.3   | 12.1               | 41.2                  | 54.7 | 47.8               |

En comparant l'analyse CAMBIER au tableau ci-contre, on constate que le fer est très abondant dans la première analyse, qu'il est beaucoup moins abondant dans les moyennes FLORENTIN, SCHMUTZ et LAFORE établies pour les lignes semi-aériennes et qu'il n'existe plus qu'à l'état de traces dans les moyennes établies par ces mêmes chercheurs pour les lignes souterraines. La raison en est simple. D'une façon générale, le freinage, obtenu par contact de la fonte avec les bandages des roues, provoque une usure très rapide des sabots qui se traduit par l'émission dans l'atmosphère de particules d'acier et surtout de fonte.

C'est ce qui explique que le Dr. CAMBIER ait mentionné en 1913 une si forte proportion de fer dans la poussière du Métropolitain.

Mais après la guerre, les rames circulant dans les lignes souterraines ont été munies de sabots en bois huilé. D'où, disparition presque totale du fer dans les poussières. Les rames circulant au contraire sur les lignes semi-aériennes n'ont reçu que partiellement le même équipement. Aussi, trouve-t-on des proportions notables de fer, dans les poussières provenant de ces lignes. Actuellement, la Compagnie se préoccupe de remédier à cet état de choses sur toutes ses lignes et on peut affirmer que ce métal deviendra de plus en plus rare dans les poussières des stations et des tunnels.

## REPARTITION DES POUSSIÈRES

En ce qui concerne la répartition des poussières, les études qu'ont faites MM. FLORENTIN, SCHMUTZ et LAFORE ont montré que d'une façon générale, les quantités de poussières varient d'une station à une autre, pour une même ligne, par suite de circonstances locales. Néanmoins, ils ont constaté que les résultats obtenus pour une même ligne, et pour les diverses lignes étaient assez comparables pour qu'il fût possible de déterminer une moyenne, permettant de classer ces lignes en trois catégories, d'après leur teneur en poussières.

Et c'est ainsi qu'ils ont pu distinguer :

— La catégorie I comprenant les lignes semi-aériennes.

— La catégorie II dans laquelle rentrent les lignes souterraines anciennes à grand trafic.

— La catégorie III où se classent la ligne 12 (ancien Nord-Sud) et les lignes souterraines de création récente.

Et voici maintenant pour quelques-unes de ces lignes la quantité de poussières déposée par jour et par mètre carré, évaluée en milligrammes.

### *Catégorie n° I*

|                |          |
|----------------|----------|
| Ligne II ..... | 500 mgr. |
| Ligne V .....  | 438 mgr. |

*Catégorie n° II*

|                 |          |
|-----------------|----------|
| Ligne IV .....  | 384 mgr. |
| Ligne I .....   | 305 mgr. |
| Ligne III ..... | 255 mgr. |

*Catégorie n° III*

|                     |          |
|---------------------|----------|
| Nord-Sud (12) ..... | 160 mgr. |
| Ligne VII .....     | 155 mgr. |
| Ligne VIII .....    | 140 mgr. |

Comme on le voit, ce sont les lignes de construction récente qui contiennent le moins de poussières.

Les couloirs qui relient les diverses stations de correspondance sont beaucoup plus poussiéreux que ne le sont les stations elles-mêmes. C'est du moins ce qui semble ressortir d'analyses faites à République et à Châtelet. On a trouvé, en effet, à :

|                                              |            |
|----------------------------------------------|------------|
| République par jour et par m <sup>2</sup> .. | 935 mgr.   |
| Châtelet — — ..                              | 1.995 mgr. |
| Châtelet — — ..                              | 1.312 mgr. |

## CAUSES DE LA SUSPENSION DES POUSSIÈRES

Donnons maintenant quelques généralités sur les causes de la suspension des poussières.

A l'air libre, ce sont les grands courants atmosphériques qui font flotter les molécules solides, sollicitées d'ailleurs par l'attraction du globe. Dans les habitations selon la remarque de NAEGELI, cet effet est dû aux courants de ventilation et même à ceux dont on ne se

rend pas compte, qui procèdent des irrégularités de température.

Dans le « Métropolitain », c'est la production constante de tourbillons provoqués par le déplacement des rames qui assure cette suspension. Mais il faut mentionner aussi la naissance de courants d'air naturels ou provoqués.

Il faut savoir encore que les gaz de l'air peuvent se condenser autour des petits corps solides et en augmenter le volume sans en élever sensiblement le poids. De là, une diminution de la densité des corpuscules de la poussière. De là encore, un équilibre qui peut être parfait entre la vitesse du courant d'air et l'attraction terrestre ou même qui peut être rompu à l'avantage de la première.

### **NECESSITE DE SUPPRIMER LES POUSSIÈRES**

Et maintenant, pourquoi est-il nécessaire de supprimer au maximum les poussières du « Métropolitain » ?

En principe, les poussières de toute espèce peuvent pénétrer et pénètrent dans l'économie.

Pendant longtemps, on a cru que les poils placés à l'entrée des fosses nasales et, surtout, les cils vibratiles de l'épithélium bronchique, empêchaient l'accès des particules étrangères jusqu'aux alvéoles du poumon. Cette manière de voir ne saurait être rete-

nue aujourd'hui. Les poussières de toute espèce, en effet, suivent la voie bronchique, gagnent les alvéoles pulmonaires et en traversent la paroi pour atteindre le tissu conjonctif du poumon. ZENKER a démontré que les particules poussiéreuses n'ont même pas besoin, pour y parvenir, de posséder des angles ou des aspérités. Ainsi la poussière d'oxyde de fer, composée de grains arrondis, nullement offensifs, se retrouvait dans les alvéoles. En ce qui concerne la poussière de charbon, TRAUBE la reconnaissait, après la mort, dans les cellules et le tissu du poumon d'un individu qui avait pratiqué le commerce du charbon de bois.

Il conviendrait aussi d'ajouter à la dureté des corps plus ou moins réguliers, leur ténuité. Cette condition en effet favorise grandement la pénétration des particules minérales dans l'épaisseur du tissu pulmonaire.

Les poussières, minérales ou autres, ont encore une action mécanique fâcheuse sur la peau, dont elles obturent les pores ou qu'elles irritent. Cette action irritante est plus sensible là où le tégument fait place à une membrane plus délicate, comme sur la partie externe du globe oculaire, par exemple.

Cependant, parmi les poussières, les plus à redouter sont, sans contredit, celles qui comportent les petites particules détachées du corps de l'homme, sain ou malade, ou venant de divers foyers de putréfaction (crachats), quand la surface de ceux-ci en est suffisamment desséchée pour pouvoir se fendil-

ler, s'effriter et abandonner des parcelles de matières sous l'influence de chocs ou de courants aériens.

Cette partie comporte encore des micro-organismes de la putréfaction ou même quelques-uns de ceux qui ont passé par l'économie d'individus atteints de maladies infectieuses.

Or, ces déchets organiques sont des poisons réels, merveilleusement aptes à altérer les propriétés du sang, à compromettre les fonctions primordiales, celles du cerveau, des organes digestifs, des glandes, de l'hémopoïèse. Nous n'en voulons pour exemple que le fait de voir des soldats, la chaleur et l'insomnie aidant, devenir, dans certaines casernes, dyspeptiques et anémiques à la fin de l'été sous l'action néfaste de l'atmosphère des chambrées mal aménagées.

### **MOYENS DE DÉPOUSSIERAGE EMPLOYÉS OU À EMPLOYER**

Les généralités que nous venons d'exposer sur les poussières suffisent à nous montrer amplement combien il faut compter avec elles lorsqu'on se place au point de vue du maintien de l'hygiène dans l'atmosphère du « Métropolitain ». La conclusion logique qui ressort de ces généralités, c'est la nécessité de les éliminer dans la mesure du possible, par tous les moyens.

Or, parmi ceux qui ont été employés jusqu'ici par la Compagnie du Chemin de fer Métropolitain pour ce faire, nous devons signaler tout d'abord le remplacement des sabots en fonte par des sabots en bois huilé.

De sorte que les particules de fer métallique considérés par les physiologistes comme particulièrement dangereuses n'existent plus.

Nous devons citer encore les lavages des quais, des stations et les arrosages fréquents dont ils sont l'objet.

#### **a) Rôle des bouches d'aération.**

Nous devons mentionner enfin les bons effets des bouches d'aération dont M. FAUCONNIER, Directeur du Service des Travaux Neufs, a heureusement augmenté le nombre comme nous le verrons plus loin lorsque nous aborderons la question de la ventilation.

Toutefois, en ce qui concerne le rôle de ces dernières dans le dépoussiérage des souterrains et des stations, il y a lieu de s'y arrêter un instant pour juger de son importance.

Nous savons que la suspension des poussières est assurée dans l'air du Métropolitain par les tourbillons que provoque le déplacement constant des rames.

Or, entre la cessation et la reprise du service, les particules les plus lourdes qui entrent dans la constitution des poussières tombent sur les surfaces envi-

ronnantes et il ne reste plus en suspension que celles qui, sous l'action de la moindre agitation de l'air, échappent à la pesanteur.

Il s'ensuit que, pendant la période de repos, l'atmosphère du Métropolitain s'épure des poussières lourdes, mais sitôt la reprise du service, le passage de la première rame, les particules les plus lourdes sont de nouveau soulevées de la surface où elles s'étaient déposées et remises en suspension, s'y maintenant jusqu'à la prochaine cessation de service.

Ce ne sont donc que les fines poussières restant en suspension dans l'air du souterrain qui peuvent sortir vers l'extérieur en empruntant les bouches d'aération. La sortie de celles-ci est donc intimement liée aux échanges qui se produisent par l'intermédiaire de ces bouches entre le milieu extérieur et l'atmosphère du souterrain.

Il y a lieu de diviser ces baies en deux catégories : celles qui desservent des lignes très peu profondes et celles qui aèrent des lignes beaucoup plus profondément situées.

Avec les premières, des échanges gazeux se produisent pendant toute la durée du service grâce au déplacement des rames, même si la température extérieure est plus élevée que la température intérieure.

Mais entre la cessation et la reprise du service, ces mêmes échanges n'ont lieu qu'à partir du moment où la température extérieure devient plus basse que la température intérieure.

Comme conséquence logique de cette différence

entre ces températures, on peut dire que de 1 heure à 5 heures et demie, les particules lourdes n'étant plus suffisamment maintenues en suspension se déposent sur les surfaces environnantes et, seules, les très fines particules s'échappent par les baies. De plus, l'air extérieur qui pénètre dans le tunnel étant généralement moins agité de 1 heure à 5 heures et demie, la quantité de poussières qui entre avec lui dans le tunnel pendant ce même temps est bien moindre que pendant la durée du service.

Avec les deuxièmes, il n'y a vraiment d'échanges gazeux que si la température extérieure est plus basse que la température intérieure. Car avec ces baies, l'action adjuvante de brassage des rames se fait de moins en moins sentir au fur et à mesure que la plateforme de la voie est située plus profondément. Cette action, du reste, s'annule pour les voies tout à fait profondes et, dans ce cas, seule la différence de température entre l'extérieur et l'intérieur entre en jeu pour assurer les échanges.

Il s'ensuit, que les particules solides, infiniment petites, s'échappent du tunnel pendant tout le temps que dure la différence de température.

Donc, la température entrant presque seule en jeu dans ces derniers échanges, c'est surtout durant les saisons froides que la sortie des poussières sera assurée au maximum. Pendant les saisons chaudes, en effet, ce n'est qu'entre 1 heure et 5 heures que cette sortie, toujours timide, se produira.

Il résulte de ce qui précède que la quantité de

poussières en suspension dans l'atmosphère du « Métropolitain » ne saurait être diminuée, d'une manière sensible par les échanges qui sont susceptibles de se produire, par intermittence, grâce à l'existence de bouches d'aération.

### **b) Surfaces happantes.**

Enfin, pour en terminer avec les poussières, nous devons dire un mot d'un procédé que M. BOUYGUES a préconisé dans plusieurs de ses rapports à la suite d'une longue série d'expériences qu'il a faites à ce sujet.

M. BOUYGUES a recommandé en effet l'emploi de surfaces happantes. Ces surfaces amovibles ou fixes (mieux vaudrait amovibles) seraient recouvertes d'une substance glutineuse, très fortement adhésive, sans odeur et antiseptique. L'air des tunnels et des stations qui est en perpétuel état d'agitation, surtout durant les heures de service, viendrait lécher constamment ces surfaces et s'y dépouillerait des poussières qu'il contient en suspension.

De telles surfaces pourraient être placées sur le toit des voitures, sur des fractions de parois des tunnels; sur le devant des locomotrices, etc... et même sous chaque voiture à une certaine distance du ballast.

Les baies d'aération elles-mêmes pourraient en être munies. Dans ces conditions, l'air de la rue serait

largement dépouillé des poussières qu'il contient en suspension avant son arrivée dans les tunnels.

Ce procédé, joint à ceux que l'Administration du Métropolitain emploie déjà pour le dépoussiérage, aurait l'avantage d'écouter très peu et d'assurer un enlèvement rapide et sûr des poussières (1). Quant aux surfaces happantes, elles seraient facilement renouvelables et même détruites (si elles étaient amovibles) lorsque leur rôle serait très fortement atténué par l'usage.

## **LES BACTERIACEES ET L'ATMOSPHERE DU METROPOLITAIN**

Enfin, pour en terminer avec les poussières, nous devons dire un mot des Bactéries qui se trouvent dans le Métropolitain, et qui constituent la partie vivante des poussières.

### **L'AIR CONFINE AU POINT DE VUE BACTERIOLOGIQUE**

L'observation de tous temps a fait attribuer la propagation des épidémies à la corruption de l'air. Mal-

(1) Il est bien entendu qu'ici le mot poussière est pris dans le sens le plus général, et, partant, que les parties minérales, les microbes (spores, bactériacées, levures, etc.) seraient happés par ces surfaces. D'où un moyen élégant de se débarrasser d'une manière constante de ces infiniments petits, surtout si la matière happante était rendue toxique.

gré les progrès de la science bactériologique, le mécanisme même de la transmission des maladies reste encore mystérieux.

De nombreux chercheurs ont tenté de mettre en évidence les microbes de l'air à l'aide d'ingénieux appareils, mais les résultats ont été souvent décevants, même lorsqu'il s'agit de microbes connus et cultivables.

La méthode des filtres à poudres solubles donna au Dr. CAMBIER, sur la ligne 4 et en été :

4 à 5.000 bactéries et 3.500 spores de mucédinés par mètre cube d'air.

Ces teneurs sont sensiblement les mêmes que celles trouvées pour l'air du centre de Paris.

Hiver : 3 à 4.000.

Été : 10 à 12.000.

Le peuplement bactérien de l'atmosphère varie avec les saisons; en hiver, le sol humide semble retenir les germes; en été, par contre, par suite de la dessiccation, l'essaimage est plus intense.

La lumière solaire, le degré hygrométrique de l'air, la densité de la population, la pression atmosphérique, l'état d'agitation ou de calme de l'atmosphère sont autant de facteurs qui modifient le nombre de germes bactériens en suspension dans l'atmosphère.

La récente notion des aérosols microbiens introduite par M. A. TRILLAT, est venue jeter un jour nouveau sur le problème.

A côté des poussières visibles contenues dans l'at-

mosphère, se placent des particules des plus ténues. Le plus grand nombre sont des gouttelettes de Flügge, susceptibles de rester en suspension dans l'atmosphère pendant un certain temps. Leur portée ne saurait excéder quelques mètres par suite de l'action de la pesanteur.

### **Aérosols microbiens**

Il existe des éléments encore plus petits, visibles au microscope ou à l'ultramicroscope, constitués par des particules humides ou sèches régies par des lois semblables à celles qui intéressent les solutions colloïdales. Ces suspensions d'éléments constituent les aérosols. La grande quantité de micro-organismes répandus dans l'atmosphère justifient l'appellation d'*aérosols microbiens* donnée par M. TRILLAT à cette conception.

De même qu'il existe des *aérosols solides* ou *liquides* susceptibles de variation selon les facteurs modifiant l'atmosphère, de même les *germes bactériens* peuvent se combiner à l'air et à l'eau de l'atmosphère.

Ces aérosols sont dans un état dont la stabilité varie avec diverses conditions.

Pour ce qui est de la pesanteur, la stabilité diminue avec le poids.

La température agit par ses variations brusques

dont l'élévation diminuant la densité de l'air accélère leur chute.

Le degré hygrométrique augmentant, agit dans le même sens.

La pression barométrique, l'état électrique de l'atmosphère, la radioactivité favorisent leur chute.

Quant aux aérosols microbiens, assimilés aux aérosols humides, les germes ont tendance naturellement à s'entourer d'une atmosphère hydrique naturelle. Tantôt ils jouent le rôle de centre de condensation, tantôt s'associent à des gouttelettes aqueuses dont ils occupent le centre, réalisant des gouttelettes de Flügge infiniment petites. Ainsi donc, la pesanteur sera négligeable; M. A. TRILLAT a observé une vitesse de chute de 1 cm. en dix minutes pour des gouttelettes de 1  $\mu$ .

#### **Influence de la température.**

La dessiccation de l'air fait diminuer le volume des gouttelettes et par conséquent leur vitesse de chute.

#### **Influence du degré hygrométrique.**

Sa variation amène l'absorption d'humidité en excès et augmente leur poids.

#### **Influence de la pression barométrique.**

Une dépression brusque amène une accélération de chute des fines gouttelettes par suite de la variation

de la température. De plus, fait important, « elle amène un accroissement du dégagement des produits gazeux du sol qui favorisent la vitalité, le développement de germes en suspension dans l'air et l'eau (caillage accéléré du lait en temps d'orage).

### **Influence de son état électrique.**

Selon la charge des gouttelettes de même signe ou de signe opposé, elles ont tendance à s'attirer ou à se repousser.

Les expériences prouvent que les aérosols en général se rassemblaient et se coagulaient comme les cas des liquides colloïdaux.

DISPERSION. — Elle est due aux diverses répulsions électriques, aux mouvements browniens et aux courants d'air créés par l'inégalité de température en deux points. Ce dernier point a été mis en évidence par l'expérience suivante : on a disposé des boîtes de Pétri dans un rayon de 100 m. du point d'émission d'une nébulisation d'émulsion de bacillus prodigiosus. Malgré un léger vent, toutes les boîtes furentensemencées.

### **Influence de la composition chimique de l'air.**

Contrairement aux aérosols constitués de particules inertes comme les poussières, les aérosols microbiens sont vivants et n'obéissent plus à la loi de Stokes. Les variations chimiques de la composition de l'at-

mosphère pourront favoriser la vie des particules microbiennes; ce sont les « gaz aliments » ou les stériliser; ce sont les antiseptiques.

Les « gaz aliments » seront, par exemple, les gaz de la respiration animale ou végétale, les produits provenant des décompositions organiques, les gaz se dégageant du sol à la faveur d'une dépression barométrique. Ils contiennent en effet tous les constituants de la cellule à l'état libre ou combiné.

Les antiseptiques, par contre, transforment l'aérosol microbien en aérosol inerte. M. A. TRILLAT souligne le fait que des doses infiniment faibles d'antiseptiques sont nécessaires. « Alors qu'un antiseptique que additionné de bouillon de culture en voie d'évolution est microbicide à la dose de 1/200, le même microbe est tué s'il se trouve en suspension dans l'air à la dose de 1/5.000.000 ». De là l'utilité d'utiliser un antiseptique soluble dans l'eau plutôt que dans l'huile.

Le résultat s'explique par le fait que le microbe est en quelque sorte isolé dans le cas d'aérosol microbien, donc plus vulnérable.

Les travaux de M. A. TRILLAT expliquent le mécanisme de transmission des maladies épidémiques par l'intermédiaire de l'air pollué et soulignent l'importance jouée par des conditions atmosphériques, particulièrement humidité et pression barométrique.

Les gouttelettes les plus fines de  $1\ \mu$  ou au-dessous ne sont plus arrêtées par le mucus naso-pharyngé et peuvent atteindre ainsi l'épithélium pulmonaire.

L'état de fine division permet de concevoir la contagion avec une quantité de microbes qui serait inactive par voie sous-cutanée.

Par inhalation d'un aérosol renfermant, non plus des germes en suspension, mais le virus grippal préparé selon le procédé de DUJARRIC DE LA RIVIÈRE et CHEVÉ, on a pu transmettre la grippe à des furets.

Puisque l'on admet la contagion par l'inhalation des gouttelettes microbiennes émises par le malade, l'idée est venue à M. A. TRILLAT d'essayer de stériliser l'air en créant un aérosol antiseptique ne présentant aucune toxicité.

Le fait nouveau consiste à substituer aux vaporisations d'antiseptiques forts, autrefois proposées, des doses infinitésimales d'antiseptique actif, réalisant ainsi une désinfection permanente de l'air.

## ODEUR "METRO"

Nous avons déjà été amené dans ce qui précède à faire allusion à l'ODEUR « MÉTRO ». Nous avons dit, en effet, quelques mots des corps odorants susceptibles de souiller l'atmosphère du « Métropolitain ». Nous allons reprendre maintenant cette question à seule fin de la traiter avec un peu plus d'ampleur.

Et d'abord, demandons-nous quelle est l'origine de cette odeur ? En fait, ce n'est pas l'origine qu'il faudrait dire, mais bien les origines, car celles-ci sont

multiples. L'odeur « Métro » est, en effet, une somme d'odeurs dont les unes (les plus nombreuses), émanent du corps humain; les autres, du matériel roulant; les autres, des fumeurs de tabac. A la somme de celles-ci, on doit ajouter encore cette odeur spéciale, indéfinissable, des lieux par trop chauds, humides et plutôt clos.

Quand on considère l'ensemble du Réseau Métropolitain au point de vue de son odeur spécifique et, par tant, caractéristique, on doit tout d'abord se garder, comme l'a si justement écrit le Professeur BOUYGUES, de généraliser son existence et d'admettre qu'elle est, *à priori*, d'une composition uniforme et d'une intensité égale sur tous les points du Réseau.

Par exemple, les gares, les stations qui sont à ciel ouvert ne possèdent pas d'odeur. Les stations copieusement ventilées soit naturellement, soit mécaniquement, soit par les deux moyens à la fois, sont encore dans ce cas. De même, les extrémités d'un tunnel présentant une solution de continuité avec son prédécesseur ou son successeur. L'odeur des stations des Halles, de Reaumur-Sébastopol, n'est pas la même entre 7 et 8 heures qu'entre 16 et 17 heures. L'odeur de ces dernières stations n'a rien de comparable à aucun moment de la journée avec celle de Marcel Sembat et autres qui sont fortement ventilées. L'odeur de Chatelet (ligne 4) n'est pas la même que l'odeur de Chatelet (ligne 1) ; et ces odeurs sont différentes de l'odeur des couloirs qui les réunissent.

L'odeur des stations profondes n'est pas semblables à l'odeur des stations situées à fleur de terre.

De même l'odeur des longs couloirs (Bastille, Concorde, etc...) est différente de celle des couloirs courts.

L'odeur des tunnels ne ressemble en rien à celle des stations quand on la flaire loin de celles-ci. Enfin, l'odeur des voitures n'a rien de commun avec celles des stations, des couloirs et des tunnels.

Ces exemples, qu'on pourrait du reste multiplier à plaisir, suffisent à montrer combien il serait risqué de généraliser l'existence d'une odeur uniforme et d'égale intensité sur tous les points du Réseau. Autrement dit, il n'y a pas une odeur-somme dans le Métropolitain, il n'y a pas une odeur unique, il y a des odeurs. Voilà un fait nettement acquis et d'une grande importance. Cependant, il faut reconnaître qu'à la base de toutes ces odeurs, il en est une dont la présence est générale et à laquelle viennent se surajouter bon nombre d'autres. Et cette une, c'est l'odeur qu'on flaire dans tout lieu humide, situé plus ou moins profondément dans le sol.

Quant à celles qui viennent s'y surajouter, elles ne sont pas les mêmes pour ces sortes de récipients mal clos que sont les stations, les tunnels, les couloirs, les voitures. Elles sont, comme nous l'avons dit plus haut, aussi diverses que leurs origines sont variées. Et on comprend alors pourquoi les odeurs diffèrent tant les unes des autres.

Or, ces odeurs ne pourraient-elles pas être, sinon détruites, du moins atténuées ? Tel est le problème !

## **Essai de destruction et d'atténuation de l'odeur " Métro ".**

On a beaucoup écrit à ce sujet. On a même cherché à faire quelque chose. On a, par exemple, essayé de désinfecter l'air du souterrain avec de l'ozone sans tenir compte des dégâts sérieux que ce corps peut provoquer, à la longue, sur la muqueuse pulmonaire.

A ce propos, du reste, M. BOUYGUES s'exprimait ainsi qu'il suit dans un de ses rapports :

« Il ne faut pas, en effet, oublier que, en 1848, SCHÆN-  
« BEIN écrivait que l'apparition dans l'air d'une pro-  
« portion un peu élevée d'ozone coïncidait toujours  
« avec la production des épidémies de grippe. Les pre-  
« mières expériences qui furent instituées par ce sa-  
« vant, pour étudier les effets physiologiques de ce  
« corps, nous fournissent des renseignements plus pré-  
« cis sur lui.

« Voici, en effet, les principaux résultats auxquels  
« le conduisirent ses observations.

« Lorsqu'on met des animaux dans l'air ozonisé, on  
« voit leur respiration s'accélérer. Des mucosités sor-  
« tent par leurs narines et ils finissent par succomber  
« avec tous les signes d'une inflammation des voies  
« respiratoires qui peut se constater à l'autopsie.

« Un chien, placé pendant une heure dans une clo-  
« che où on fait passer de l'ozone, meurt de ces acci-  
« dents. Et cependant SCHÆNBEIN évaluait à deux mil-  
« ligrammes seulement la quantité d'ozone inspirée  
« par cet animal, à l'autopsie duquel les poumons

« présentaient une vive rougeur et tous les signes  
« d'une phlegmasie très aiguë de la muqueuse respi-  
« ratoire.

« De La RIVE, qui a aussi expérimenté sur l'ozone,  
« a dit qu'il ne saurait mieux comparer l'action de ce  
« gaz qu'à celle du chlore ; que le résultat constant  
« était de produire l'éternuement, du coryza et une  
« bronchite. C'est du reste par cette action qu'on peut  
« s'expliquer la relation qu'on a tenté d'établir entre  
« sa présence dans l'air et les épidémies de grippe. Il  
« faut pōur cela que l'ozone soit en excès dans l'at-  
« mosphère. C'est, dit-on, ce qui a lieu lorsque le vent  
« venant du nord, pendant l'hiver, la décomposition  
« des matières organiques est suspendue. L'ozone ne  
« rencontrant plus alors les substances qui pourraient  
« le détruire, s'accumulerait dans l'atmosphère et de-  
« viendrait, de ce fait, une cause d'irritation pour  
« l'appareil respiratoire.

« Il résulte donc de ce qui précède qu'il est toujours  
« fort délicat de faire appel à l'ozone pour détruire  
« les odeurs en suspension dans une atmosphère don-  
« née d'autant mieux que ce gaz est lui-même doué  
« d'une odeur toute particulière, qui est loin d'être  
« agréable et qui finit même par être insupportable  
« lorsqu'on soumet, pendant longtemps, les voies res-  
« piratoires à son action ».

Le Docteur CAMBIER, qui fut, pendant longtemps, Di-  
recteur du Laboratoire d'Hygiène de la ville de Paris,  
avait pensé aussi à détruire l'odeur de l'atmosphère  
du Métropolitain, par le charbon activé.

Il fut amené à cette conception par les expériences suivantes. Il eut l'idée, en effet, de faire passer de l'air plus ou moins chargé d'odeurs variées à travers une épaisseur raisonnable de charbon activé. Il put alors constater que ce même air, senti à sa sortie du filtre charbonneux, ne présentait plus aucune odeur. Soumettant ensuite cet air aux rayons ultra-violets, il put se rendre compte que toutes les bactéries dont il l'avait volontairement chargé, étaient détruites.

Il ne lui en fallut pas davantage pour voir, dans la réalisation pratique de ses expériences, un moyen simple de purification de l'atmosphère du « Métropolitain » : Il en proposa le principe à l'administration. Il préconisa l'installation de filtres à l'avant des voitures afin d'aérer les voitures avec l'air du tunnel épuré par ce moyen. Il préconisa de même l'installation de filtres dans les stations. Mais malgré l'ingéniosité du procédé, celui-ci ne fut jamais pratiquement réalisé.

On a essayé et on essaye encore d'atténuer cette odeur en la masquant avec des produits odorants synthétiques et plaisant aux voyageurs. Mais voiler une imperfection ce n'est point la faire disparaître ; retarder momentanément la critique en usant de subterfuges, d'artifices, ce n'est point lui échapper.

Cependant, en l'occurrence, ne serait-ce pas, après tout, ce qu'il y a de mieux à faire ?

## CHAPITRE III

### VENTILATION

Tout ce qui précède nous a amené à entrevoir peu à peu le rôle de premier plan que peuvent/et doivent jouer les communications naturelles ou artificielles en ce qui concerne la diminution du  $\text{CO}^2$ , des poussières et des odeurs contenues dans l'atmosphère du « Métro ». Il y avait donc lieu de créer le plus grand nombre possible de ces communications. M. FAUCONNIER, Directeurs des Travaux Neufs au chemin de fer métropolitain, a fait sienne cette vérité. Et l'on peut dire que, grâce à lui, le problème de l'aération du Métropolitain est aujourd'hui résolu.

Multipliant dans une très forte proportion les bouches d'air, à seule fin d'assurer une importante ventilation naturelle ; réalisant ensuite, sur de nombreux points la ventilation mécanique, M. FAUCONNIER a rendu, ce faisant, un service inappréciable aux usagers et aux agents du métropolitain. Du reste, de telles installations sont encore en voie de réalisation et nous pouvons affirmer qu'elles ne seront pas les dernières.

Ceci dit, on peut diviser la ventilation en ventilation naturelle et en ventilation mécanique. Parlons d'abord de la première.

## A. — VENTILATION NATURELLE

Celle-ci est assurée par les baies d'aération et par les entrées et sorties des stations.

a) BAIES D'AÉRATION. — M. le Professeur BOUYGUES a étudié de très près le fonctionnement de ces baies.

Grâce aux nombreuses observations qu'il a faites en toute saison, de jour et de nuit, en se plaçant autant que faire se peut au-dessus des ouvertures des bouches d'air, il a pu acquérir la conviction que l'aération naturelle du souterrain, par leur intermédiaire, existe, mais qu'elle est surtout fonction de la différence de température entre l'atmosphère externe et celle du « Métropolitain ». La chasse d'air provoquée par le passage des rames pouvant être considérée, dans certains cas, comme d'importance limitée. Et, comme pendant l'hiver la température du souterrain est toujours de beaucoup supérieure à la température de la rue, il s'ensuit que les échanges gazeux se font d'une manière constante, continue, durant toute cette saison. Vers la fin du printemps et pendant l'été, ces mêmes échanges ne se produisent plus que pendant la nuit. Ils ont lieu à partir du moment où les couches d'air avoisinant le sol sont suffisamment refroidies. Or, le début de ce refroidissement, qui est variable suivant la saison, semble osciller cependant entre une heure et deux heures, comme le lui ont appris les nombreuses observations qu'il a faites sur place de mai à septembre, entre minuit et cinq heures.

Il ressort de ce qui précède, que l'aération des tunnels du « Métropolitain » se fait toute l'année grâce aux bouches d'aération dont ils sont munis. Toutefois, il faut reconnaître que les échanges gazeux entre les souterrains et l'atmosphère libre sont bien plus actifs et constants durant l'hiver que pendant la saison estivale. Quoi qu'il en soit, on doit reconnaître le rôle capital que jouent les bouches d'aération dans la ventilation naturelle du souterrain. Et l'on comprend que M. FAUCONNIER en ait accru et en accroisse constamment le nombre. Pour le moment, 300 bouches d'air sont réparties sur les 158 km. que comporte le réseau.

b) ENTRÉES ET SORTIES DES STATIONS. — Après avoir recherché dans quelle mesure les baies d'aération assurent le renouvellement de l'air des souterrains et des stations, M. BOUYGUES a cherché à se rendre compte du rôle que peuvent jouer à ce même point de vue les entrées et les sorties de celles-ci.

Cette étude a été fort longue, fort compliquée. On doit même dire que, actuellement, elle n'est pas encore terminée. Cependant les observations qu'il a faites jusqu'ici l'ont autorisé à écrire que plus le système de couloirs, réunissant la rue aux quais des stations, présente de coudes, plus les échanges d'air entre l'extérieur et l'intérieur sont amoindris. Dans certains cas même, ils sont totalement nuls et tout se borne alors, dans une station munie de couloirs trop en chicane, à un brassage de l'air par les rames entrantes et sortantes.

Voilà tout ce qu'on peut dire pour le moment sur le

rôle des entrées et des sorties dans l'aération des stations.

Passons maintenant à la ventilation mécanique.

## B. — VENTILATION MECANIQUE

La ventilation mécanique constitue un procédé de choix. Elle permet, en effet, de remplacer assez rapidement l'air vicié d'une enceinte donnée par de l'air plus pur. Et l'on comprend fort bien qu'on l'ait installée dans les tunnels de l'Apennin (Pracchia) (1), du St-Gothard (2), de Giovi (3), de Ronco (4), de Sale (5), de Savignano (6), de Pitteccio (7), de l'Albespeyre (8), du Mont-Cenis (9), d'Elkhorn (10), de Big Bend (11), de Galitzin (12), dans le tunnel sous le Severn (13). Et c'est pourquoi on comprend encore que M. FAUCONNIER ait eu l'heureuse idée d'appliquer ce même mode de ven-

(1) Sur la ligne de Bologne à Pistoie (2.727 m. de long) Italie.

(2) Sur la ligne de Bâle à Turin (14.984 m. de long) Italie.

(3) Sur la ligne de Gênes à Novi (3.258 m. de long) Italie.

(4) Sur le dédoublement de cette ligne (8.301 m. de long) Italie.

(5) Sur la ligne de Savone à Bra (2.310 m. de long) Italie.

(6) Sur la ligne de Bologne à Pistoie (1.073 m. de long) Italie.

(7) Sur la ligne de Bologne à Pistoie (1.773 m. de long) Italie.

(8) Sur la ligne de Paris à Nîmes (1.503 m. de long) France.

(9) Sur la ligne de Paris à Modane (12.849 m. de long) France.

(10) Sur le Norfolk and Western Railway (914 m. de long) Amérique.

(11) Sur le Chesapeake and Ohio Railroad (1.981 m. de long) Amérique.

(12) Sur la ligne principale en Pennsylvania Railroad (1.981 m. de long) Amérique.

(13) Sur la ligne de Londres au Pays de Galles (6.000 m. de long) Angleterre.

tilation aux souterrains. Certes, ne pouvant amener dans ceux-ci, du moins par les moyens actuels, l'air pur des collines et des plaines de la grande banlieue de Paris, il ne fallait point songer à doter les souterrains d'une atmosphère irréprochable. Mais il ne faut pas non plus oublier que l'air constituant l'atmosphère parisienne est renouvelé plus ou moins rapidement, au cours de la journée et de la nuit. Les courants d'air venant des environs, quelquefois même de très loin, diluent celui de la métropole s'ils ne le chassent pas entièrement. Par conséquent, le « Métropolitain » bénéficie de cet air rénové et par la ventilation mécanique et par la ventilation naturelle. Et c'est pourquoi, nous le répétons, l'idée de M. FAUCONNIER d'avoir multiplié et de multiplier les bouches d'aération et d'étendre le système de ventilation mécanique est une idée on ne peut plus heureuse.

### **Modes de ventilation mécanique.**

La ventilation mécanique est toujours assurée par des ventilateurs. Cependant, ne pourrait-on pas, à la rigueur, considérer comme ventilation mécanique celle qui est provoquée par le déplacement des rames dans le tunnel ? Si nous nous en tenons à ce que, le 22 janvier 1904, MM. Albert LÉVY et PÉCOUL ont consigné dans un rapport qu'ils adressent au préfet de la Seine, la chose est peu probable.

Ils ont écrit, en effet :

« L'air des tunnels est fortement agité par le passa-

« des trains. Nous le savons que trop, car au moment  
« de nos prélèvements, il nous faut nous retenir à la  
« muraille en retournant la tête afin de ne pas rece-  
« voir un violent soufflet d'air.<sup>1</sup>

« Cette agitation et ce brassage opèrent-ils un re-  
« nouvellement d'air ? Nous ne le pensons pas.

« Une minute après le passage d'un train, l'air du  
« tunnel est revenu au repos absolu. Nous n'avons que  
« bien rarement constaté un mouvement d'air dans les  
« tunnels. Les vitesses maxima n'ont pas dépassé 1 m.  
« à la seconde, tantôt dans un sens, tantôt en sens  
« contraire, et elles ont été constatées très accidentel-  
« lement.

.....  
« Lorsqu'un train circule dans un tunnel, il se forme  
« autour de lui un tourbillon très nettement caracté-  
« risé.

.....  
« Ces mouvements tourbillonnaires produisent un  
« brassage énergique de l'air des tunnels, mais ils  
« n'ont pas, sur la ventilation, une influence aussi ef-  
« ficace qu'on pourrait le penser tout d'abord.

« Nous avons constaté effectivement qu'ils ne déter-  
« minaient aux portes des stations que des courants  
« de durée très limitée. Encore, avons-nous été obligés,  
« pour faire ces observations, de nous placer dans des  
« conditions exceptionnellement favorables puisqu'il  
« est nécessaire de maintenir les portes ouvertes pour  
« permettre au courant d'air de s'établir et pour pou-  
« voir en mesurer la vitesse. Normalement, pendant  
« toute la durée du service, les portes sont fermées et

« ne s'ouvrent qu'à l'entrée ou à la sortie des voya-  
« geurs.

« Nous avons cependant relevé accidentellement,  
« aux portes de quelques stations et à certains jours  
« seulement, des vitesses assez grandes : 1 m. à 7 m.  
« à la seconde. Mais ces courants, de vitesse et de du-  
« rée extrêmement variables, ne se produisent guère  
« qu'au moment de l'arrivée et du départ des trains.

.....  
« Les variations de vitesse et de durée, le change-  
« ment de sens rendent impossible l'évaluation, même  
« approximative, du volume d'air déplacé.

« Il est nécessaire de mentionner que les mouve-  
« ments tourbillonnaires signalés plus haut et qui ont  
« été étudiés avec le plus grand soin par M. PÉCOUL,  
« présentent l'inconvénient de soulever les poussières  
« qui s'accumulent sur le ballast... »

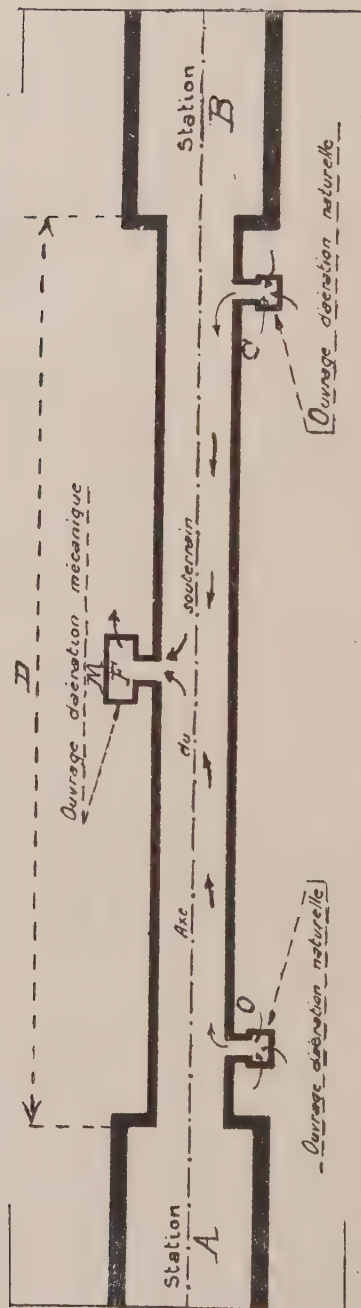
Voilà ce qu'écrivaient MM. Albert LÉVY et PÉCOUL,  
le 22 janvier 1904. Donc, à cette époque, le déplace-  
ment des rames assurait le brassage de l'air du sou-  
terrain sans provoquer des échanges importants entre  
celui-ci et la rue.

Mais aujourd'hui, il n'en est plus de même. En effet,  
de nombreuses bouches d'air existent. Et quoique le  
passage des rames provoque des échanges gazeux d'im-  
portance limitée entre le souterrain et la rue, il n'en  
est pas moins vrai que ces échanges existent et qu'ils  
sont nettement perceptibles (1).

Et ces échanges seraient encore bien plus sensibles

(1) Recherches de M. Bouygues à la station Réaumur-Sébastopol.

## SCHEMA DE VENTILATION MECANIQUE



Le ventilateur installé en F aspire dans le souterrain l'air vicié qu'il refoule vers l'extérieur par une galerie et une cheminée.

Un courant d'air s'établit dans le souterrain venant des ouvrages O et C en communication libre avec l'atmosphère et la chambre F où l'on crée artificiellement une dépression.

si les tunnels du Métropolitain ne comportaient qu'une voie ou bien deux voies séparées par une cloison parfaitement étanche.

Dans ce cas, les rames joueraient le rôle d'un piston se mouvant au sein d'un corps de pompe.

Il y aurait ainsi, en grande partie, chasse d'air dans le sens de la marche, par devant le convoi, et appel d'air par derrière.

•VENTILATION PAR VENTILATEURS. — Passons maintenant à la ventilation mécanique proprement dite, c'est-à-dire à la ventilation assurée par des ventilateurs.

Le principe de cette aération que M. FAUCONNIER a fait réaliser par ses services, sous sa direction, est des plus simples.

Deux stations A et B.

Entre elles, une distance de valeur D.

Au milieu de D, c'est-à-dire en M, un ouvrage F avec ventilateur auquel échoit le double rôle d'aspirer l'air du tunnel et de le rejeter ensuite dans la rue.

En O et en C, un ouvrage d'aération, autrement dit une bouche d'air.

Voilà le principe dans toute sa magistrale simplicité.

Quant au fonctionnement et au mode d'action de ce système, ils sont des plus simples aussi.

En effet, sitôt le ventilateur mis en marche, il se produit dans le tunnel deux courants d'air ayant chacun pour origine principale, l'une des bouches d'air O et C. Ces deux courants ont le même point de convergence, l'ouvrage à ventilateur F. Et là, après avoir été fusionnés, ils sont renvoyés vers l'extérieur, dans la rue.

Pour assurer un appel constant de l'air du tunnel

vers l'ouvrage ventilant, pour pallier aussi le plus possible aux perturbations apportées au sens de la marche des courants et à leur intensité par le déplacement des rames, pour réduire enfin au minimum, le ronflement de l'appareil, ronflement qui pourrait gêner les habitants voisins de l'ouvrage F, on impose au ventilateur un régime de 300 tours à la minute. Ce régime peut du reste être porté à 500. Mais la vitesse normale de fonctionnement est de 300.

Tels sont le principe et le mode d'action de la ventilation mécanique proprement dite.

Il existe déjà 27 postes de ce genre d'aération sur le Réseau métropolitain. Et les résultats obtenus jusqu'ici avec eux, ont été si satisfaisants dans leur ensemble, que ce mode de ventilation va être généralisé sur tous les points où le tracé des voies ferrées métropolitaines le permettra.

## **EFFETS DES VENTILATIONS CONJUGUEES**

Nous avons déjà vu, dans ce qui précède, l'action de la ventilation naturelle sur la sortie des poussières impalpables, c'est-à-dire sur celles qui échappent à l'action de la pesanteur.

Nous avons parlé aussi de son heureuse influence sur le renouvellement de l'atmosphère du « Métropolitain » : renouvellement d'où découle naturellement une diminution d'intensité de l'odeur « Métro ». En-

fin, nous avons montré le rôle que pouvait jouer, dans certaines conditions, le déplacement des rames au point de vue de l'aération des souterrains et des stations.

Or, il va sans dire que lorsque la ventilation mécanique proprement dite, c'est-à-dire la ventilation par ventilateur, vient ajouter son action constante et régulière à celle des autres, les résultats obtenus sont bien meilleurs.

Mais ce n'est pas seulement sur le renouvellement de l'atmosphère et sur les corps qu'elle tient en suspension que ces ventilations conjuguées agissent. La température des souterrains et des stations, en effet, est heureusement modifiée par elles.

Ce problème de la température, est tout à fait important pour le « Métropolitain » ! Qui de nous, en effet, n'a pas observé que cette température est agréable ou incommodante, suivant les saisons, suivant même les variations thermométriques de l'extérieur !

Cette importance n'a, du reste, pas échappé à M. FAUCONNIER. Et c'est pourquoi il s'y est spécialement attaché avec le concours de M. BOUYGUES. Depuis déjà plusieurs années, en effet, des recherches journalières sont faites pour doter les souterrains et les stations d'une température à peu près constante et supportable, quelle que soit la saison.

Il nous eût été particulièrement agréable de nous étendre longuement sur ce problème de la température : problème à la fois si délicat et si complexe. Le mérite de ceux qui s'en occupent, leur souci permanent

du bien-être des usagers et des agents eussent été bien mieux mis en relief. Mais une telle question demande à être traitée avec ampleur. Or les limites que la force même des choses nous a obligé d'assigner à notre modeste travail ne nous le permettaient pas. Cependant nous pouvons dire que grâce à la ventilation conjuguée, et surtout grâce à la ventilation par ventilateur, les premiers essais qui ont été effectués ont donné des résultats on ne peut plus encourageants. Et il n'est pas pas douteux que les recherches, journellement poursuivies encore actuellement, permettront de solutionner heureusement le problème dans un avenir très prochain et, partant, de rendre l'atmosphère du Métropolitain constamment très supportable en tous temps.

## CONSIDERATIONS GENERALES

Et maintenant, pour terminer ce modeste travail, qu'on nous permette de résumer en quelques lignes ce qu'une étude approfondie mais à exposition volontairement raccourcie nous a appris sur ce milieu qui peut être considéré comme quasiment clos sur la plus grande partie de sa longueur.

L'atmosphère du Métropolitain contient, comme les atmosphères confinées, de l'acide carbonique, des poussières, des odeurs.

ACIDE CARBONIQUE. — Il y existe en permanence. Toutefois, sa proportion varie avec les lieux, les saisons, les heures de la journée. Ses origines sont multiples. Mais s'il en est qui paraissent encore obscures comme les origines telluriques, il en est d'autres qui sont nettement connues comme les origines respiratoire et perspiratoire.

*Origine respiratoire.* — D'une façon générale, l'air inspiré, ramené à 100 volumes, contient 0,03 de  $\text{CO}_2$ . Au contraire, l'air expiré en renferme 4,35. Mais il va sans dire que cette dernière proportion varie avec l'activité respiratoire laquelle est fonction du sexe, de l'âge, de l'activité et du repos musculaires, des régimes, etc., etc.

*Origine perspiratoire.* — La respiration cutanée ou perspiration rejette aussi constamment du  $\text{CO}_2$ . Et cette élimination augmente avec la température, l'activité digestive, la lumière, etc., etc. Le  $\text{CO}_2$  ainsi rejeté dans les deux cas n'est pas toxique en lui-même, du moins dans certaines proportions (Expériences de PETTENKOFER, de DEMARQUAY). Mais dans les deux cas encore ce  $\text{CO}_2$  est toujours accompagné d'un grand nombre de produits gazeux qui viennent s'ajouter à lui (gaz complexes formés surtout d'hydrogène sulfuré, d'acides carbonique, butyrique, acétique, formique, de formaldéhyde, de ptomaïnes, de phénol, de scatol, d'acides gras volatils et de produits odorants abondants). Or, c'est la somme de tous ces corps qui diminue la valeur hygiénique d'une atmosphère donnée.

De sorte que plus le  $\text{CO}_2$  est abondant dans un lieu clos donné, plus la somme de ces corps toxiques est élevée. C'est ce qui explique du reste l'importance qu'on attache au titrage du  $\text{CO}_2$  dans un air donné, pour être renseigné sur sa valeur vitale.

POUSSIÈRES. — Dans les poussières du Métropolitain, il y en a qui viennent de la rue et d'autres qui se forment sur place.

Leur composition est celle de toutes les poussières et, partant, comporte une partie minérale et une partie organique qui peut être organisée. On y trouve aussi des traces de fer provenant de l'action des sabots de frein sur les roues. Cependant il faut reconnaître qu'il en existe fort peu depuis que la Compagnie a pris des dispositions dans ce sens.

La partie organisée comporte des spores de champignons, des levures et des bactéries. D'une façon générale, plus l'humidité de l'atmosphère du Métropolitain est grande, plus le nombre des bactéries est faible et plus celui des moisissures est élevé (Dr CAMBIER).

La quantité des poussières varie d'une station à une autre par suite de circonstances locales.

Quant aux couloirs qui relient, dans certains cas, des stations entre elles, ils sont encore moins poussiéreux.

Les poussières du Métropolitain sont en perpétuel état de suspension durant les heures de trafic, grâce aux nombreux tourbillons que provoque le déplacement des rames.

ODEUR DU MÉTROPOLITAIN. — Il n'y a pas une odeur « Métro », il y a des odeurs « Métro ». L'odeur de telle station ne sera pas celle de sa voisine. L'odeur des couloirs n'est pas identique à celle des stations ; pas plus que l'odeur des tunnels n'est semblable à celle des voitures. En fait, à la base de toutes ces odeurs il en est une à laquelle viennent se surajouter les autres et cette une, c'est celle qu'on perçoit dans tout milieu humide, mal ventilé et fraîchement bâti. Quant à celles qui viennent s'y ajouter, elles ont pour origine d'abord les usagers qui les portent sur eux ou qui les dégagent de toutes les façons et ensuite le matériel roulant qui, à la suite de coups de freinage trop brusques, voit leurs huiles de graissage surchauffées aux environs de 120°, 130°. D'où émanations d'acroléine.

L'atmosphère du Métropolitain présente donc les imperfections de toute atmosphère confinée. Toutefois,

nous pouvons affirmer (et ceci nous pourrions facilement le prouver si c'était nécessaire) que cette atmosphère est de beaucoup supérieure à celle des salles de spectacles, de réunions, voire même, durant la saison estivale, à celle de certaines artères très fréquentées de la capitale (rue de Rivoli, par exemple).

Et un tel résultat est obtenu grâce à une ventilation judicieusement conduite et méthodiquement établie par M. FAUCONNIER, Directeur des Travaux Neufs.

Cette ventilation peut être naturelle ou mécanique ou bien les deux à la fois.

Sous l'influence de la ventilation, le CO<sup>2</sup>, ainsi que les corps qui l'accompagnent, les fines particules des poussières (spores, levures, bactéries) sont refoulées vers l'extérieur pendant qu'un air nouveau venant de la rue pénètre sous les voûtes.

Mais cet air nouveau venant de la rue entraîne avec lui des odeurs, des spores, des levures, des bactéries nouvelles, sans compter la quantité de ces infiniment petits que les usagers apportent accrochés aux semelles de leurs chaussures.

Les spores, les bacilles, les levures qui viennent de l'extérieur comme les infiniment petits qui sont déjà dans la place, ne sont pas précisément à l'état végétatif. Et ce n'est certes point dans le « Métro » qu'ils trouveront le substratum idoine les obligeant à passer de la vie latente à la vie active. Certes, pour couper court à la critique, pour donner un semblant de raison à l'opinion publique, peut-on en temps normal nébuliser l'atmosphère du Métropolitain (TRILLAT). Mais ne

pourrait-on pas avoir recours aussi aux surfaces happantes (BOUYGUES) qui, elles, happeraient toutes les poussières durant les heures du trafic ? Il n'y aurait plus qu'à renouveler de temps à autre les surfaces happantes.



## CONCLUSIONS

La solution hygiéniquement idéale au point de vue atmosphère du souterrain serait de l'assimiler, autant que faire se peut, à un vaste espace clos et de l'équiper à la manière des abris collectifs de défense passive. Il deviendrait ainsi possible de renouveler constamment l'air vicié du souterrain par un air extérieur préalablement filtré. De même serait-il possible d'utiliser les procédés de régénération selon les besoins.

Une telle conception pour si séduisante soit-elle n'est pas pratiquement possible à réaliser ; par contre, il a été possible de transformer certains points en abris collectifs et entièrement isolés de l'atmosphère du souterrain, munis de dispositifs à ventilation filtrée.

En certains lieux munis de baies d'aération, il se fait un échange d'air surtout actif de l'extérieur vers l'intérieur en hiver. En été, par contre les échanges dans ce sens ne sauraient avoir lieu avant le refroidissement suffisant des couches inférieures de l'air extérieur. Les procédés de ventilation mécanique qui tendent à se généraliser de plus en plus n'ont pas le même inconvénient. Ils créent un déplacement d'air à sens unique ; la prise d'air a lieu au niveau des accès et des stations ; le refoulement en un point situé entre deux stations à ventiler.

Selon l'effet désiré, on peut intensifier ou ralentir la circulation de cet air, afin de ne pas soumettre les voyageurs aux méfaits des courants d'air. Il est possible d'envisager le réchauffement ou la réfrigération de cet air selon les saisons, la modification de débit selon l'intensité du trafic et l'état hygrométrique de l'air.

Les bienfaits de la ventilation se font surtout sentir sur l'élimination du  $\text{CO}_2$  et des produits qui l'accompagnent.

Les odeurs, les poussières, les germes bactériologiques pourront être entraînés partiellement par cette ventilation judicieusement réglée. Entre les heures de trafic, rien n'empêche une ventilation plus poussée permettant de compléter ces diverses actions.

Afin d'éviter le refoulement à l'extérieur d'un air par trop pollué au point de vue bactérien, il est souhaitable que les germes bactériens puissent être fixés et neutralisés en certains points soit dans le souterrain, soit aux points de refoulement de l'air. Le chaulage des voies, les badigeonnages des parois, les arrosages avec des solutions antiseptiques, les nébulisations dans l'atmosphère de produits faiblement antiseptiques et non toxiques actuellement à l'étude semblent promettre pour un avenir prochain une atmosphère du Métropolitain de plus en plus satisfaisante. L'éducation du public fera comprendre l'intérêt de ne pas cracher par terre, de prendre les précautions d'usage pour éviter la dissémination des gouttelettes de Flügge afin d'atténuer au maximum les dangers de l'encombrement et de la promiscuité.

Dans l'état actuel des choses, l'air du métro est de

qualité sensiblement égale à celle de rues de Paris. Si l'application de la stérilisation de l'air par des nébulisations antiseptiques devient possible, peut-être qu'un jour il sera possible aussi de filtrer l'air extérieur afin d'éliminer les gaz nocifs et déchets de combustion des moteurs qui infestent les rues.

*Vu :*

LE DOYEN :  
TIFFENEAU.

*Vu :*

LE PRÉSIDENT DE LA THÈSE :  
TANON.

*Vu et permis d'imprimer :*

LE RECTEUR DE L'ACADÉMIE DE PARIS,  
ROUSSY.



## BIBLIOGRAPHIE

- Annales d'Hygiène publique industrielle et sociale*, n° 2, février 1938.
- ANGUS SMITH. — Air and rain.
- ARNOULD. — *Traité d'Hygiène*, 1888.
- BALTHAZARD. — *Traité de Médecine légale*.
- BARIOT. — Essai sur l'air considéré comme cause de maladie.
- BARNES E.-C. — Just determinations. *Am. I. Publ. Health* 26 ; 274-280 mars 1936.
- BÉCHAMP. — Sur la zymase de l'air expiré. *C. R.* 1888, p. 272.
- BERNIÈRE. — Sur les causes de viciation de l'atmosphère libre et confinée et les moyens d'y remédier. *Thèse Paris*, 1931.
- BERTARELLI. — L'ozono come depuratore dell' aria ? *Riv. di engegner san Torino*, 1910, VI, 304.
- L. BIETTE. — Les mesures d'hygiène et de sécurité appliquées dans les travaux du Métropolitain de Paris. (*Journ. of State Medic.*, London), 1914, 402-411, 484, 543.
- BILLINGS, WEIR MITCHELL AND BERGEY. — The composition of expired air and its effect upon animal life. (*Repertoire Smithsonian Inst.*, 1895).
- BORDAS. — Fumées et Poussières. (*Ann. d'Hyg.*, déc. 1926).  
— Les odeurs. (*Ann. d'Hyg.*, avril 1932).

BOUSSINGAULT. — Recherches sur la composition de l'atmosphère sur la possibilité de constater des miasmes. — Sur la présence d'un principe hydrogéné dans l'air. (*Annales de Phys. et Chimie*, 1844, t. X, p. 456).

J. BOYER. — Désodorisation du Métropolitain par l'ozone. *Nature*, Paris 1925, LII, pp. 97-99.

BRAND. — Recherches sur l'air confiné. Paris, 1880.

BROW-SÉQUARD et D'ARSONVAL. — C. R. Académie des Sciences, 1888.

Dr R. CAMBIER. — *Annales des Services techniques d'Hygiène de la Ville de Paris*, t. VIII, IX, XI, XIII, XIV, XV.

— Assainissement et stérilisation de l'air confiné. *Bull. Acad. de Méd. Paris*, 102, 13-15, 2 juill. 1929.

CAVEL. — Sur l'entraînement de germes microbiens dans l'atmosphère par pulvérisations d'eau polluée. *C. R. Acad. des Sc. Paris*, 1914, CLVIII, 896-898.

A. CHANTEMESSE et E. MOSNY. — VII ; Hygiène industrielle ; p. 137 et suivantes ; Edit. J.-B. Baillière et fils, 1908.

CLARK. — Recent investigation upon the poisonous property in expired air. (*J. Am. med. Assoc.*, Chicago, 1895, XXV, 17-20).

COOK W.-A. — Chemical procedures in air analysis methods for determination of poisonous atmospheric contaminants. (*Am. J. Pub. Health. Supp.* 26-80-95, mars 1936).

CONNEL. — Measures of dust control. (*Industr. med.* 4, 257-261, mai 1935).

D'ARSONVAL. — Détermination du degré de souillure de l'atmosphère. *Ac. des Sc.*, Paris, 1926, CLXXXII.

DESFOSSÉS. — Une révolution hospitalière. Aération et constance de la température dans les salles d'hôpitaux. *Presse Médicale*, 9 mars 1937. — *Mouvement Sanitaire*, janv. 1938.

- DOUGLAS, HILL, SMITH. — Effect of antiseptic sparys on bacterial content of air. *Industr. Hyg. J.*, 10, 219-226, sept. 1925.
- DUBAC. — L'air ; effet de son impureté sur la santé. Paris, 1909.
- FARMACHIDIS. — Ricerche sperimentali sulla presenza di antropotossine nell'aria espirata. (*Policlinico Roma* 1913, XX, sez. medic., 116-138, I pl.).
- FEIL A. — Les poussières et leur nocivité. *Concours Méd.*, n° 34, 23 août 1936.
- FORMANECK. — Ueber die Giftigkeit der Ausathmungsluft. *Arch. f. Hyg.*, 1900, p. 1.
- GIRAULD. — *Annales des Services Techniques d'Hygiène de la Ville de Paris*, t. XVII.
- GANDILLON. — Ventilation des égouts. « *Où en est l'urbanisme* », 1923.
- GARDENCHI. — Ricerche interne all'aria espirata et confinata. (*Giorn. d. r. sc. ital. d'igiene*, Milano, 1904, XXVI).
- GAUSSIN. — *Thèse Paris*, 1902. — Recherches expérimentales sur les altérations de l'air déterminées par la respiration dans les milieux à atmosphère confinée.
- GÉRARDIN. — Elimination des odeurs urbaines et industrielles. (Alimentation en eau et assainissement des villes. Ed. Imbeaux).
- GLEYS. — *Traité de Physiologie*.
- L. GRAUX. — Hygiène des Métropolitains souterrains. (Rap. 19 pages, Rousset, Paris, 1906).
- GREHANT. — C. R. à la Soc. de Biol., nov. 1901.
- GUILLERD. — Les microbes de l'air. (*Ann. d'Hyg.* Paris, 1923, n. s. I, 645-671).
- HAMMOND. — A Treatise on hygiene with special reference to the military service. Philadelphie, 1863.
- HARTLEY. — Rebreathed air as a poison per se. (*Lancet*, Lond., 1898, II ; 744-746).

- HENRIET et BOUISY. — Sur une méthode de mesure du degré de viciation d'une atmosphère confinée. *Acad. des Sciences. Paris*, 1911, CLII, 1180-1183.
- HILL. — The relative influence of the heat and chemical immunity of the close air. *Proc. physico. soc.*, London, 1910, XII, p. 111
- HOLMAN. — Ventilation of the Hudson river tunnel. *Soc. Amer. N. Y.*, 1920. CXXIII, p. 149.
- HUGOUNENQ. — Action de l'ozone sur l'air vicié. (*Hyg. Soc.* 10 janv. 1935).
- DE HUMBOLDT et GAY-LUSSAC. — Mémoire sur l'analyse de l'air atmosphérique. *A. n.*, VIII.
- KHON ABREST. — *Précis de Toxicologie*.
- KINIOCH. — The constituents of fresh and vitiated air and their signifiante in problems of ventilation. (*Brit. m. j.* London, 1922, XVIII, p. 356).
- KLING et ROUILLY. — Méthode rapide pour apprécier le taux de gaz carbonique dans les atmosphères gazeuses. (*Acad. des Sc.*, janv. 1936, pp. 318-320).
- LASSAIGNE. — Recherches sur la composition que présente l'air recueilli à différentes hauteurs dans une salle où ont respiré un grand nombre de personnes. *C. R.*, 1846, t. XXIII.
- LAULANIE. — Marche des altérations de l'air dans l'asphyxie en vase clos. *Arch. de Physiol. normale et path.*, 1894, p. 545.
- LAVOISIER. — Sur les altérations qui arrivent à l'air dans plusieurs circonstances où se trouvent les hommes réunis en société. *Hist. de l'Acad. royale des Sc.*, 1782, p. 569.
- Œuvres complètes publiées par Dumas. Paris, 1862.
- LEBLANC. — Recherches sur la composition de l'air confiné. (*Ann. de Chimie et Phys.*, 3<sup>e</sup> série, t. V, 1842).

- LÉVY. — Recherches sur la composition de l'atmosphère. (*Ann. de Chimie et Phys.*, 3<sup>e</sup> série, 1843, t. VII, p. 425, 1852, XXXIV, p. 5).
- R. DE LUNA. — Etudes chimiques sur l'air atmosphérique de Madrid. (*Ann. d'Hyg.*, 2<sup>e</sup> série, t. XV, 1861).
- MENIER G. — Recherches sur la purification de l'air. Appareil purificateur. (C. R. de l'Acad. des Sc., 196, 1054, 1056, 3 avril 1933).
- MEYER. — A toxic substance in human expired air. (*Am. J. Hyg. Balt.*, 1923, III, 483).
- MISSENARD F.-A. — Etude physiologique et technique de la ventilation.
- MOYLE. — Analyse de l'atmosphère de quelques mines du Duché de Cornouailles. (*Ann. de chimie et phys.*, 3<sup>e</sup> s., t. III, 1841).
- PERSOZ. — *Thèse Paris*, 1936. Hygiène des chantiers souterrains.
- PETTENKOFFER. — Zeitschrift für Physiologie Bd. XVI, 1880.
- PILLE. — Etude sur le rôle de l'ozone en hygiène et en thérapeutique. Paris, 1911.
- Médecin-Colonel PILOD. — Le problème du conditionnement de l'air des locaux habités. *Revue Méd. Française*, 15 oct. 1935.
- QUENU. — Les micro-organismes de l'air dans les salles d'opération. Recherche d'un procédé de désinfection. Soc. de Chir., Paris, 1902, n. s., XXVIII, 252-255.
- RICHTER. — Expériences américaines sur des procédés de filtration de l'air. (*Gesundheits Ingenieur*, t. LVII, 1934, p. 705, in *Office int. d'Hyg. publ.*, juin 1935, n<sup>o</sup> 6).
- G.-L.-A. RUEHLE. — Methods of bacterial analysis of air. *J. agric. Research Wash*, 1915, IV, 343-368.

- SALUTARI. — Physico chemical changes in respirable air on various types of ships in peace and war. Method of purifying air. (*Am. di. med. nav.*, nov.-déc. 1929).
- SANARELLI et BIFFI. — *Annali d'Igiene Sperimentali*, Roma, 1902, vol. XII, p. 20.
- SARCEY. — Les odeurs de Paris.
- ME. DE SAUGY. — La technique moderne de conditionnement de l'air. (*Hyg. Sociale*, 25 juin 1935, n° 143).
- SCHARLING. — Recherches sur la quantité de CO<sup>2</sup> expiré par l'homme en 24 heures.
- SEIDELL et MESERVE. — Gaseous impurities in the air of railway tunnels. (Washington, 1914). *U. St. Publ. Health serv. Hyg. Labor.*
- SUPPLE. — CO<sup>2</sup>, NH<sup>3</sup>, H<sup>2</sup>S in air of habitation. *Arch. f. Hyg.*, t. XCVIII, 1928.
- TANON. — *Précis d'Hygiène*.
- TEISSL L. — New apparatuses for modern hygienic purification of air. (*Zeritsch. f. Gewerbe hyg.*, 39, 73-74, 15 mai 1932).
- TISSOT. — Propriétés des gaz. Respiration. (*Traité de Phys. biologique*).
- A. TRILLAT. — Contribution à l'étude du mécanisme de la contagion des maladies transmissibles par l'air et l'eau. *Bull. Méd.*, 30 août 1930.
- Propriétés des Aérosols microbiens. Applications. (*Ann. d'Hyg. Publ. Ind. et Soc.*, N. S., 1938, n° 2).
- Sur la théorie miasmatique. (*Ann. Inst. Pasteur*, 1912).
- Action des gaz putrides sur les microbes. (C. R. Acad. des Sc., 1909).
- TRILLAT et SAUTON. — Influence des atmosphères viciées sur la vitalité des microbes. (*Hyg. Générale et appliquée*, juin 1910, n° 6).
- UFFELMANN. — Luftuntersuchungen. (*Arch. für Hygiene*, 1888, VIII).

- WALLMANN. — Special problem in atmospheric pollution. (*Am. J. Publ. Health*, 20 mars 1930).
- WALTER A. — Stérilisation de l'air. (Soc. franç. d'électr. et radiol., n° 9, nov. 1936).
- WELLS et STONE. — Sur l'infection transmise par l'air. (*The American Journ. of Hyg.*, vol. 20, n° 3, nov. 1934, pp. 611 et 619 et *Off. Int. d'Hyg. publ.*, n° 6, juin 1935).
- A.-B. WILLIAMSON. — Health conditions in underground offices. (*J. Roy. San. Instr.*, 53 : 376-384, janv. 1933).
- J.-J. WENNER. — The relative merits of the dribbling method of enumerating air bacteria. (*Science N. Y. et Lancaster Par.*, 1915, XLI, p. 663).



IMPRIMERIE SPECIALE  
DE  
MM. VIGOT Frères





